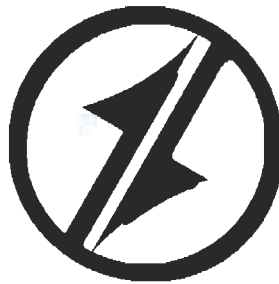


CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**EFFECTO DE LAS VARIABLES DE LOS PROCESOS GTAW Y SMAW EN LA
REPARACION DE MOLDES DE ALEACION C99350 (Cu-Ni-Al)**

POR

ENRIQUE LOPEZ VILLARREAL

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA DE
LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO A 28 DE FEBRERO DEL 2008

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**EFECTO DE LAS VARIABLES DE LOS PROCESOS GTAW Y SMAW EN LA
REPARACION DE MOLDES DE ALEACION C99350 (Cu-Ni-Al)**

POR

ENRIQUE LOPEZ VILLARREAL

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO A 28 DE FEBRERO DEL 2008

CIMENTOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALDERÓN
CAMPUS CALDERÓN


Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de CV.
Gerencia de Desarrollo del Factor Humano
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la monografía **“Efecto de las variables de los procesos GTAW y SMAW en la reparación de moldes de aleación C99350 (Cu-Ni-Al)”**, realizada por el alumno Enrique López Villarreal con número de matrícula 06-ES041 sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

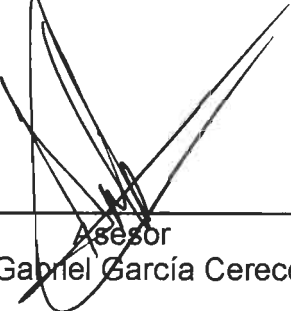
El Comité Tutorial



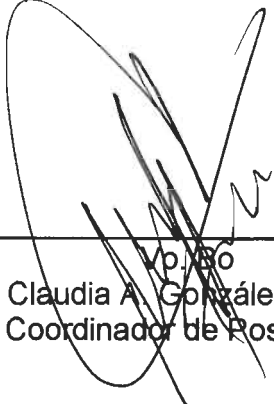
Tutor Académico
Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés



Tutor en Planta
Dr. Daniel González Cortez



Asesor
M.C. Gabriel García Cerecero



Vp. So
M.C. Claudia A. González Rodríguez
Coordinador de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A MI TUTOR ACADEMICO DR FELIPE ARTURO REYES POR GUIARME EN LA REALIZACION DEL PROYECTO. A MI TUTOR DE PLANTA DR.DANIEL GONZALES POR LA INFORMACION PROPORCIONADA ACERCA DEL PROCESO DE SOLDADURA EN FAMA.

ESPECIAL AGRADECIMIENTO AL M.I. GABRIEL GARCIA CERECEROS POR SU INVALUABLE APOYO TECNICO.

AL LA INGENIERO BEATRIZ ADRIANA BORREGO GÓMEZ POR SU APOYO INCONDICIONAL.

A M IS PADRES, QUE POR ELLOS SOY LO QUE SOY.
A MIS HERMANOS.

INDICE

1. SINTESIS.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. JUSTIFICACION.....	3
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
5. HIPOTESIS.....	6
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
7. METODOLOGIA.....	8
8. ESTADO DEL ARTE.....	9
8.1. EL COBRE.....	9
8.1.1. CARACTERISTICAS MECANICAS.....	15
8.1.2. VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS CON LA TEMPERATURA.....	17
8.2. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION.....	19
8.2.1. MECANISMOS DE ENDURECIMIENTO.....	19
8.3. COBRES DEBILMENTE ALEADOS.....	23
8.3.1. ALEACIONES QUE ELEVAN LA TEMPERATURA DE RECRISTALIZACION.....	23
8.3.2. ALEACIONES DE COBRE ENDURECIBLES POR ENVEJECIMIENTO.....	25
8.3.3. ALEACIONES DE COBRE DE FACIL MAQUINABILIDAD.....	26
8.4. ALEACIONES CU-ZN.....	27
8.4.1. LATONES α	27
8.4.2. LATONES $\alpha + \beta$	30

8.5 ALEACIONES CU-AL.....	31
8.5.1. CUPRO-ALUMINIO α	31
8.5.2. CUPRO-ALUMINIO $\alpha + \beta$	33
8.5.3. ELEMENTOS QUE ELEVAN LA TEMPERATURA DE RECRISTALIZACIÓN.....	33
8.5.4. CUPROALUMINIOS MONOFÁSICOS (α).....	33
8.5.5. CUPROALUMINIOS BIFÁSICOS β	34
8.6. ALEACIONES CUPRO- NÍQUEL.....	38
8.7. SOLDADURA EN LOS COBRES Y SUS ALEACIONES.....	40
8.7.1. EFECTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LA SOLDADURA.....	40
8.7.2. FACTORES QUE AFECTAN LA SOLDABILIDAD.....	43
9. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	45
9.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	45
9.1.1. DUREZA.....	45
9.1.2. ANÁLISIS QUÍMICO.....	45
9.1.3. ANÁLISIS METALOGRAFICO.....	46
9.1.4. IDENTIFICACION DE FASES.....	49
9.2. EXPERIMENTACIÓN.....	52
9.2.1. ANÁLISIS METALOGRAFICO.....	53
9.2.2. ENSAYO DE DUREZA.....	60
10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	62
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
12. BIBLIOGRAFIA.....	66
13. LISTADO DE TABLAS.....	67
14. LISTADO DE FIGURAS Y GRAFICAS.....	68
15. AUTOBIOGRAFIA.....	70
16. GLOSARIO.....	71
17. ANEXO.....	73

1.

SINTESIS

El presente trabajo ha sido elaborado por la necesidad de la empresa FAMA S.A de C.V de utilizar un metal de aporte similar al metal base en la reparación de moldes de aleación C99350, ya que el utilizado actualmente es una aleación base níquel.

Este trabajo aborda el estudio de la soldabilidad de la aleación de cobre C99350 en la cual se seleccionaron los procesos GTAW y GMAW para la experimentación. Adentrándose en su metalurgia para identificar cual es la función de cada elemento químico que la compone y así poder establecer un procedimiento de soldadura adecuado.

La importancia de las propiedades del cobre y sus aleaciones también es resaltada en el estudio especialmente la aleación bronce aluminico, que es la aleación comercial con composición química más cercana a la que ocupa el estudio.

A través de los resultados de los experimentos se comprueba que es factible utilizar un metal de aporte con propiedades termo mecánicas similares al metal base que brinden una soldadura sana.

2.

OBJETIVOS

Recuperación de piezas de bronce C99350 por soldadura.

OBJETIVO ESPECIFICO

Desarrollar un proceso de recuperación con un metal de aporte con las mismas propiedades termo-mecánicas del metal base, en especial la dureza.

3. MET

JUSTIFICACIÓN

En la empresa FAMA surgió la necesidad de hacer un estudio sobre una aleación de cobre (c99350: Ni 14.2, Zn 9.18, Al 8.8, Fe 2.47, Sn 0.32, Mn 0.22, Pb 0.13) que es utilizada en una diversa cantidad de componentes en los moldes para inyección de botellas de vidrio

Actualmente la recuperación de piezas por procesos de soldadura es muy rentable económicamente ya que prolonga la vida útil de la misma a un costo muy por debajo que adquiriendo una nueva. Lo que se traduce en importantes ahorros económicos, sin embargo la aleación del metal de aporte utilizada presenta menor conductividad térmica, provocando disminución en la velocidad de la maquina por menor extracción de calor lo que genera una perdida de tiempo al tener que cambiar los parámetros de las maquinas cuando se utiliza una pieza reparada. La dureza del metal de aporte que se utiliza actualmente es de 40HRC la cual es muy alta en comparación con el metal base que es de 23HRC. Aunque en algunos casos es bueno tener una alta dureza ya que el desgaste se disminuye como lo es en los fillos internos del molde

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

FAMA (Fabricación de Maquinas S.A. de C.V.) es una empresa del grupo Vitro la cual produce las maquinas y molduras para fabricación de envases de vidrio, y vidrio plano.

En la empresa FAMA S.A. de C.V. se planteó la idea de mejorar sus procesos de reparación por soldadura para una pieza en específico, la cual es parte de una moldura para botellas de vidrio. El molde, que es llamado fondo de botella de boca angosta, está hecho de una aleación de cobre el cual sufre de desgaste por erosión mecánica que ocasiona que se pierdan las dimensiones de la pieza a inyectar.

Actualmente el molde es recuperado por soldadura con metal de aporte base níquel; lo que se requiere es sustituir el metal de aporte por uno de aleación similar al metal base que tenga las mismas propiedades.

Las características del molde son las siguientes:

- Función: formar el fondo de la botella de vidrio como componente de la moldura durante el soplado.
- Temperatura máxima de trabajo del componente 650°C
- Temperatura de la cara de contacto : 850°C (vidrio)
- Sistema de enfriamiento a base de aire comprimido
- Fuerza de compresión del vidrio 30kg/cm²

- 10,000 ciclos de inyección por componente
- 200 piezas/semana; 10,400piezas/año
- Erosión de la cara de contacto
- Proceso actual de recuperación: soldadura por flama (metal de aporte en polvo)
- Metal de aporte: aleación base níquel
Ni:93, Si:1.5, B:2.0, Fe:1, Cr:2.0.
- 18 dlls costo de reparación por componente
- 280 dlls costo por componente nuevo

Al analizar las características actuales del molde nos podemos dar cuenta de que el costo de reparación es muy bajo con respecto al costo de una pieza nueva pero haciendo una comparación entre este beneficio y el costo que genera el cambio de parámetros en la maquina, el cual es de 15 minutos (4 unidades por segundo) 3600 unidades por el número de molduras de cada maquina que generalmente son de 10, nos damos cuenta que necesitamos cambiar el procedimiento de soldadura por uno que incluya un metal de aporte con las mismas características del metal base que nos evite perder tiempo en el ajuste de la maquina.

El problema principal es el agrietamiento en la soldadura, por lo que se busca disminuir la incidencia.

5. HIPOTESIS

Al utilizar un metal de aporte en la soldadura similar al metal base es posible que se cumpla con lo siguiente.

- Se obtendrá un incremento en la vida útil de la pieza con las mismas características termo mecánicas iniciales de manera de conservar las condiciones de operación de la maquina al utilizar un metal de aporte similar al metal base.
- Se evitara el agrietamiento en caliente en la soldadura.
- Se tendrá una pieza visualmente más presentable.

6.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Este estudio aplica para la reparación del molde de fondo de botella de boca angosta de aleación de cobre C99350 sin embargo se puede tomar como base para la reparación de un sinnúmero de componentes utilizados por FAMA S.A. de C.V. del mismo material y otras empresas que utilicen este material .

La búsqueda bibliográfica esta limitada a la información existente sobre las aleaciones de cobre similares a C99350 ya que es muy limitada la información de la aleación.

La experimentación esta limitada a la utilización de metales de aporte con composición química similar al metal base ya que no existe en el mercado un material de aporte para la aleación. Los procesos a utilizar son GTAW Y SMAW ya que son los que se adaptan a la varilla utilizada (AW ECuAl-A2).

7. METODOLOGIA

Para la realización de este estudio se llevara a cabo una investigación bibliográfica para poder recopilar información referente a los procesos de soldadura del material y analizar las mejores alternativas para poder llevar a cabo una serie de experimentos en los cuales se utilizaran un máximo de nueve moldes con el fin de obtener la combinación óptima de parámetros que nos proporcione un área soldada con las características requeridas.

ucción (T.A.T) en el plano
y el mayor a la del

8.

ESTADO DEL ARTE

8.1 El cobre.

El cobre constituye históricamente el primer metal que fue trabajado industrialmente por el hombre, con él tiene principio la edad de los metales y, con estos, el principio del desarrollo tecnológico del hombre. No obstante pronto cedió su puesto privilegiado ante el desarrollo de la tecnología del acero, más barata y más útil para la construcción de armas y herramientas, lo cual queda marcado con el principio de la Edad del hierro.

Sin embargo, con la revolución industrial, iniciada en el pasado siglo y con los grandes descubrimientos e inventos tecnológicos el cobre vuelve a encontrar un sitio importante en el desarrollo industrial: Es el campo en que se le exigen sus buenas cualidades como conductor eléctrico y térmico en compromiso con ciertos niveles de resistencia mecánica y de resistencia a la corrosión en ciertos medios.

El cobre sin alear.

El cobre, metal clasificado químicamente en el grupo IB de la tabla periódica con un número atómico de 29, no es alotrópico y cristaliza únicamente en el sistema cúbico centrado en las caras (ccc) con un parámetro reticular $a = 3,608$ A. Como es característico en este tipo de red, el sistema de deslizamiento más

importante lo constituye la dirección (1,0,1) en el plano cristalográfico (1,1,1)

La densidad del cobre puro es algo mayor a la del hierro (8,92), mientras el punto de fusión es algo inferior, 1083⁰C.

Antes de seguir describiendo características del cobre, aclararemos lo que industrialmente significa cobre puro y las variantes que comercialmente pueden encontrarse. La composición del cobre sin alear, nombre más correcto que el de cobre puro, viene forzada por las características de los procesos de obtención del mismo a partir de los minerales, especialmente por los diferentes procesos de afino.

Existen dos procedimientos fundamentales de afino que describimos a continuación:

a) Afino térmico. Consiste fundamentalmente en la eliminación de las impurezas por oxidación del baño líquido del primer producto, mediante soplado con aire. Al final del proceso la masa líquida del metal queda libre de impurezas, pero con gran cantidad de oxígeno e hidrógeno disuelto. En consecuencia, cuando solidifica la masa líquida aparece gran cantidad de poros que afectan sobre todo a las características mecánicas, especialmente a la resiliencia. El cobre sin alear obtenido de esta forma se denomina intencionadamente "cobre HC térmico tenaz".

Las siglas HC (high conductivity) indican que es un cobre de alta conductividad por la ausencia de impurezas, excluyendo el oxígeno y el hidrógeno.

Una variante de este cobre térmico es aquel que se halla con un menor contenido en oxígeno disuelto, merced a la acción desoxidante del fósforo, que se añade a tal fin. En este caso se le añade el adjetivo de "desoxidado con fósforo".

b) Afino electrolítico. Consiste en la obtención de cobre refinado por el proceso electrolítico que se realiza con un ánodo del primer producto. Todos los elementos más electropositivos que el cobre no se depositan sobre el cátodo, que es el agregado de cobre afinado. Evidentemente este cobre estará más purificado que el térmico y con menor carga gaseosa disuelta. Este cobre se denomina "cobre electrotenaz" o "HC tenaz". Este cobre refundido de forma ordinaria para su moldeo queda desprovisto de impurezas pero no de oxígeno, cuyo contenido asciende a un orden del 0.025 al 0.060%.

Una variante de éste es el obtenido por refusión del cátodo en atmósfera de CO_2 o gas inerte. Se consigue un cobre electro HC libre de oxígeno (OF), es decir la calidad "electro OFHC".

Entre las características físicas del cobre destacables frente a otros metales están la conductividad eléctrica y térmica y su resistencia a la corrosión, que pasamos a comentar:

Conductividad eléctrica.

Después de la plata, el cobre es el mejor conductor de la electricidad. La resistividad del cobre es de 1,7241 microhmios ohm/cm. La plata tiene una resistividad del orden de un 6% menor, pero por razones económicas no justifican su empleo en proporciones industriales.

El cobre con la resistividad citada tiene por convenio una conductividad de 100 IACS a 20°C (International Annealed Copper Standard).

La influencia de las adiciones de elementos de aleación y de la deformación en frío es aumentar la resistividad del cobre. Por otra parte, el cobre como todos los metales, tiene una resistividad eléctrica descendente a medida que su temperatura se aproxima a 0°K y sobre todo si su pureza es muy alta

(hiperconductividad o superconductividad).

El cobre no suele utilizarse como conductor principal en los circuitos crió eléctricos sino como estabilizador (envoltura del supra conductor) y como material de estructura del circuito de refrigeración. El coeficiente de incremento lineal de la resistencia a 20°C es $\alpha = 0,00393$.

Conductividad térmica.

A 20°C es de $0,923 \text{ cal} \times \text{cm}/\text{cm}^2 \times 5 \times ^\circ\text{C}$, tomándose igualmente como 100 (108 para la plata) pudiéndose enumerar los siguientes valores para diversos metales en comparación con la conductividad eléctrica en la tabla No 1.

Para una conductividad eléctrica de 102 IACS la conductividad térmica absoluta a 20°C es $0.941 \text{ cal} \times \text{cm}/\text{cm} \times 5 \times ^\circ\text{C}$. El coeficiente de variación con la temperatura es diferente del de la conductividad eléctrica, siendo mucho más pequeña:

a 20°C: 0,000011

a 300°C, la conductividad térmica no baja más que 1% con relación a los 20°C.

Metal	Conductividad relativa	
	Eléctrica	Térmica
Ag	106%	108%
Au	72	76
Al	62	56
Mg	39	41
Be	38	40
Zn	29	29
Ni	25	15
Cd	23	24

Co	18	17
Fe	17	17
Aceros	13-17	13-17
Sn	15	17
Pb	8	9
Sb	4.5	11
Zr	3.9	5.4
K	3.6	26
Na	2.4	16.2

Tabla 1. Conductividades eléctricas y *térmicas* relativas de los diferentes metales respecto al Cu (100%)

Resistencia a los agentes corrosivos.

Repasaremos los medios que son más interesantes a las aplicaciones principales del cobre.

Por la acción del oxígeno atmosférico a temperatura ordinaria la superficie del cobre se recubre de una película de su óxido, Cu_2O , que protege la superficie; a 150°C el espesor de la película crece rápidamente. Bajo la acción de la humedad, de los sulfuros, del gas carbónico, la película se ennegrece y adquiere posteriormente una pátina negra (azufre) o verde.

A temperatura más elevada, la película de Cu_2O formada al aire aumenta su espesor y, según la pureza del metal, puede o no escamarse. La ley de crecimiento y la adherencia de la película tiene una gran importancia para ciertas aplicaciones, como piezas de intercambiadores de calor, de hogares, mecheros, etc.

Adiciones de fósforo favorecen el escamado de la película, sobre todo mediante un rápido enfriamiento por temple en agua. También es favorecido este escamado en las calidades tenaz y desoxidado con fósforo. Sin embargo para conseguir un óxido adherente es interesante la calidad OFHC. También las

adiciones de aluminio reducen la velocidad de oxidación y dificulta el escamado, por la formación de una capa de óxido rica en Al_2O_3 .

Los halógenos atacan fácilmente al cobre sobre todo en presencia de humedad. El cloro y el bromo secos no lo atacan. El flúor seco tiene un ataque muy débil hasta los $100^{\circ}C$, y hasta los $450^{\circ}C$ la capa de CuF_2 formada frena el ataque. El cobre puro muestra mayor resistencia, pues el impuro es atacado en las impurezas segregadas en borde de grano.

Los compuestos halogenados orgánicos pueden transportarse y almacenarse en recipientes de cobre, siempre que no puedan dissociarse para lo que hay que evitar la humedad y limitar la temperatura. El cobre tiene una importante aplicación en la industria frigorífica (freón) por la propiedad descrita y su alta conductividad térmica.

Sin embargo es atacado por los ácidos halogenados inorgánicos e incluso por las sales de cloruros, que le producen corrosión superficial. Contra este último efecto ciertas aleaciones muestran resultados satisfactorios - Al, Sn, Mn, Si y Ni -.

También es atacado por otros ácidos inorgánicos diluidos como el sulfúrico, fosfórico, que son usados para instalaciones de decapado y abrillantado del cobre.

En general los compuestos de cobre son tóxicos al organismo, sin embargo por vía bucal se tolera la ingestión de alimentos que contengan menos de 0.2 gramos por comida, siendo necesario en la alimentación para evitar ciertas carencias, aunque estos niveles de ingestión, se están limitando a menores valores en la actualidad.

8.1.1 Características mecánicas.

La característica más diferenciada del cobre con respecto al acero es su excelente capacidad de deformación, lo que se traduce en un gran alargamiento proporcional de rotura en estado recocido, incluso en estado de acritud, y un importante intervalo entre el límite elástico y la carga de rotura.

Para el cobre puro las propiedades en estado bruto de colada y en estado forjado son parecidas, a condición de que las piezas moldeadas sean compactas y tengan grano fino se pueden citar las siguientes cifras:

- Carga de rotura R de 22 kg/mm²
- Límite elástico E de 4 kg/mm²
- Alargamiento A del 40%

El módulo de elasticidad es difícil de determinar en estado de recocido debido al valor muy pequeño del límite elástico en este estado. En estado de acritud es de 12650 kg/mm².

- El módulo de torsión es de: 4200-4900 kg/mm².
- El coeficiente de Poisson es de: 0.35

Puesto que el cobre no es alotrópico, sus posibilidades de endurecimiento quedan muy disminuidas. Para el cobre sin alear sólo es posible el endurecimiento por acritud; la ductilidad del cobre le permite sufrir deformaciones muy importantes para todos los procedimientos de deformación en frío.

Para el cobre puro, la carga de rotura puede alcanzar 42-45 kg/mm² para una deformación $S-s/s=100$, en la que S y s representan las secciones inicial y final del producto deformado.

Además, la curva de acritud es sensiblemente la misma para todos los procedimientos de deformación: laminación, estirado, etc. Valores típicos del endurecimiento máximo por acritud son los siguientes:

- R 45kg/mm²
- E 30kg/mm²
- A 7%

La dureza Brinell (P=5 kg, bola de D= 1 mm) del cobre HC pasa de 10 en estado recocado a cerca de 110 después de una deformación del 900%.

El límite de fatiga del cobre no aleado, en flexión rotativa es de aproximadamente 6.5 kg/mm² en estado recocado. La deformación en frío aumenta sensiblemente este valor, con un orden del 50% de incremento para cobre con una deformación del 25%.

La resiliencia tiene en general para el cobre no aleado, menos importancia que para sus aleaciones de resistencia más elevada o los materiales férreos. Sin embargo se puede apreciar que el cobre tenaz tiene una resiliencia menor que el cobre compacto. Esta diferencia viene incrementada además con la acritud, como se muestra en la figura 1.

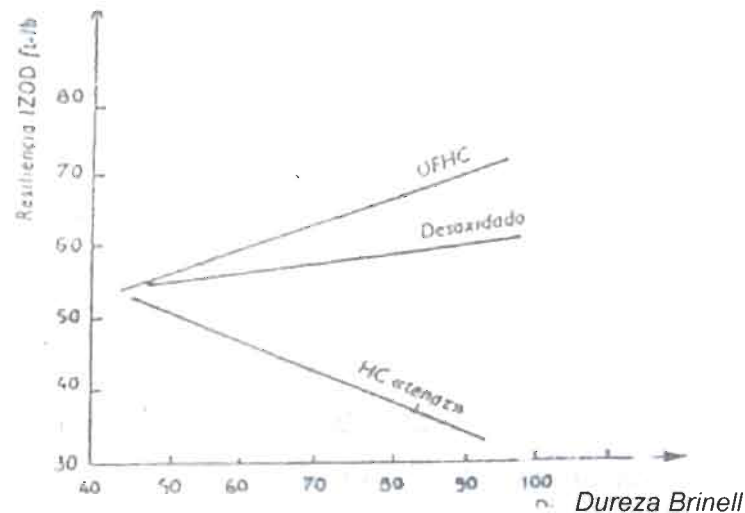


Figura 1. Resiliencia del cobre puro en función de la acritud para las calidades: HC tenaz, desoxidado y OFHC. [Referencia]

8.1.2 Variación de las propiedades mecánicas con la temperatura.

a) A Bajas temperaturas no presentan fragilidad alguna, evolucionando sus propiedades como se indica a continuación para un cobre puro sin oxígeno (alambre de 0,6mm)

La Tabla 2 muestra la evolución de R, E en Kg/mm², %A y para probetas de cobre OFHC en estado recocido y con acritud del 40%

TEMPERATURA (°C)	25	-40	-120	-180
R Kg/ mm ²	22	23	28	40
% A	48	47	45	58

Tabla 2. Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del cobre. (con acritud del 40% frente al estado recocido)

La resiliencia mantiene sus valores para cualquier temperatura, no existiendo temperatura de transición dúctil-frágil.

La evolución de la resistencia a fatiga por flexión alternada a bajas temperaturas es favorable igualmente. Para 10⁶ ciclos pasa:

- De 20 a 32 Kg/mm² cuando pasa de +20 °C a -183 °C
- De 44 Kg/mm² cuando se pasa de +20 °C a -253°C.

b) En caliente, las propiedades de resistencia a la deformación del cobre puro descienden rápidamente por encima de los 100 °C, mientras que la capacidad de deformación permanece elevada hasta el punto de fusión. En la figura 2 se muestra la evolución de las propiedades mecánicas en función de la temperatura para el cobre HC tenaz con un 35% de acritud. Obsérvese el gran ablandamiento que se produce con temperaturas superiores a los 100⁰C. Esta pérdida se debe a la recristalización del material.

En general todos los elementos de aleación aumentan la temperatura de recristalización del cobre, lo que se cuantifica en la figura 3 para diferentes composiciones.

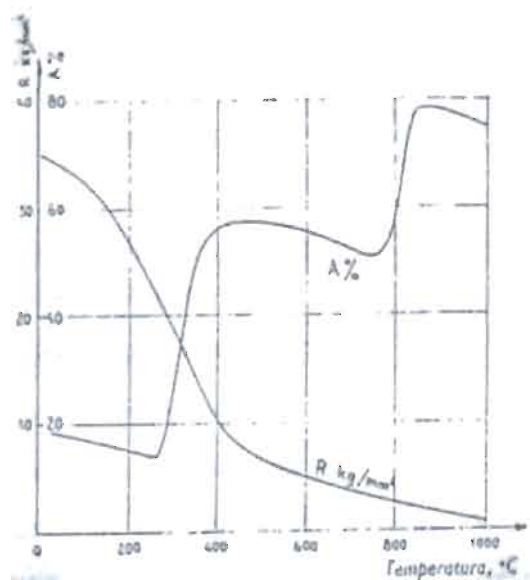


Figura 2. Evolución de las características mecánicas, R y A, en función de la temperatura para el cobre HC tenaz con 35% acritud.

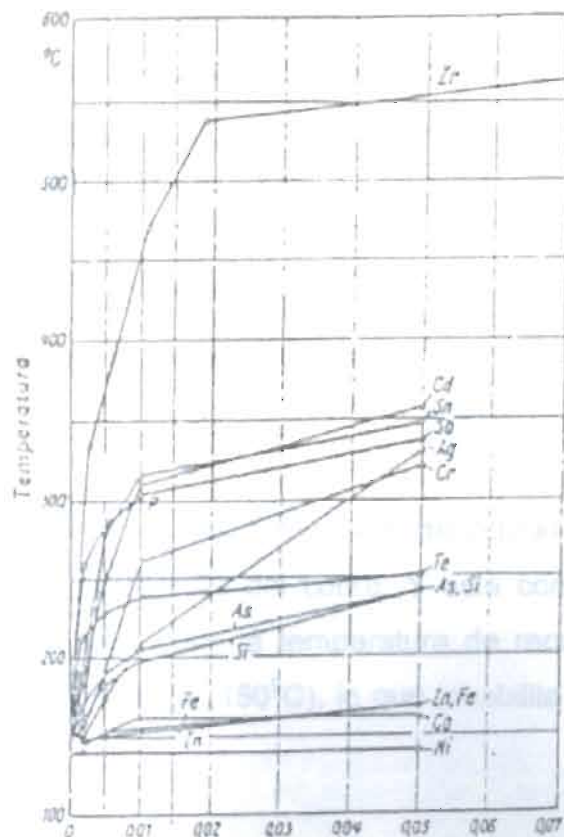


Figura 3. Temperatura de recristalización del cobre en función de los elementos de aleación y la cantidad de adición.

8.2. Influencia de los elementos de aleación.

El cobre sin alear, del que hemos hablado hasta ahora, posee distinguidas características sobre el resto de los metales que, en compromiso con su precio de mercado, definen unas aplicaciones muy específicas de este metal. En efecto, su alta conductividad eléctrica y térmica distinguen al cobre como indispensable en la industria eléctrica. También su buena conductividad térmica junto con su buena resistencia a los agentes corrosivos le hace aplicable en intercambiadores de calor. O, por sí sola, la característica de resistencia a los agentes químicos le hace aplicable a piezas que tienen que sufrir acciones de tipo corrosivo o como sucedáneo de metales preciosos como el oro o la plata.

Sin embargo, cualquiera de las aplicaciones descrita requiere del cobre un mínimo de características mecánicas que, por lo general le es difícil conseguir en estado puro, sin alear.

8.2.1 Mecanismos de endurecimiento.

En estado puro, sólo el mecanismo de acritud es conocido para mejorar las características mecánicas del cobre. Y este con limitaciones para ciertas condiciones de trabajo, pues la temperatura de recristalización, como hemos visto, es relativamente baja (150°C), lo que inhabilita el trabajado en frío como

mecanismo endurecedor, en aplicaciones eléctricas o térmicas donde fácilmente se alcanzan los niveles de recristalización.

Los elementos de aleación aportan al cobre la posibilidad de mejora de sus propiedades mecánicas por los mecanismos siguientes:

- a) Pueden ampliar el campo de temperaturas de aplicación del cobre endurecido por acritud.
- b) Pueden endurecer estructuralmente al cobre por la aleación sólida de sustitución.
- c) Permite, para ciertas proporciones y calidades de soluto, el endurecimiento por envejecimiento.
- c) Para este último supuesto, pueden combinarse envejecimiento y acritud en un solo tratamiento de endurecimiento que es, sin duda, el más eficaz. Los parámetros orientativos de este tratamiento para el cobre son los siguientes:
 - Temple: Desde 850 a 1050⁰C
 - Acritud: Con reducciones del 50 al 100%
 - Envejecimiento artificial: Temperaturas desde 375 a 5500C. Para ser factible este tratamiento la aleación debe tener temperaturas de inicio de recristalización superiores a las de envejecimiento.
 - Como contrapartida a las mejores características mecánicas que proporcionan los elementos de aleación al cobre, está la disminución de sus características de conductividad eléctrica y térmica. Exceptuando la plata, los elementos de aleación bajan la conductividad.

En la figura 4 se muestran las variaciones de la conductividad en función del porcentaje de adición. Se comprueba la existencia de los siguientes grupos:

- Oxígeno, Pb, S, Te, Se, Ag: afectan muy poco la conductividad
- Cd: afecta poco la conductividad.

- Zn, Sn, Mg, Ni: la alteran sensiblemente.
- Fe, As, Al, P: la alteran de manera muy importante.

La conductividad eléctrica y térmica es mínima para las soluciones sólidas en estado de temple homogéneo, y aumenta con la maduración artificial ya que los átomos extraños se separan de la red para formar una nueva fase, menos perjudicial para la conductividad. Por consiguiente, la maduración artificial endurecedora que sigue a un temple permite conseguir Simultáneamente un aumento de la resistencia mecánica, y de conductividad eléctrica y térmica. A este respecto debemos hacer una mención especial de las adiciones de zirconio y de cromo.

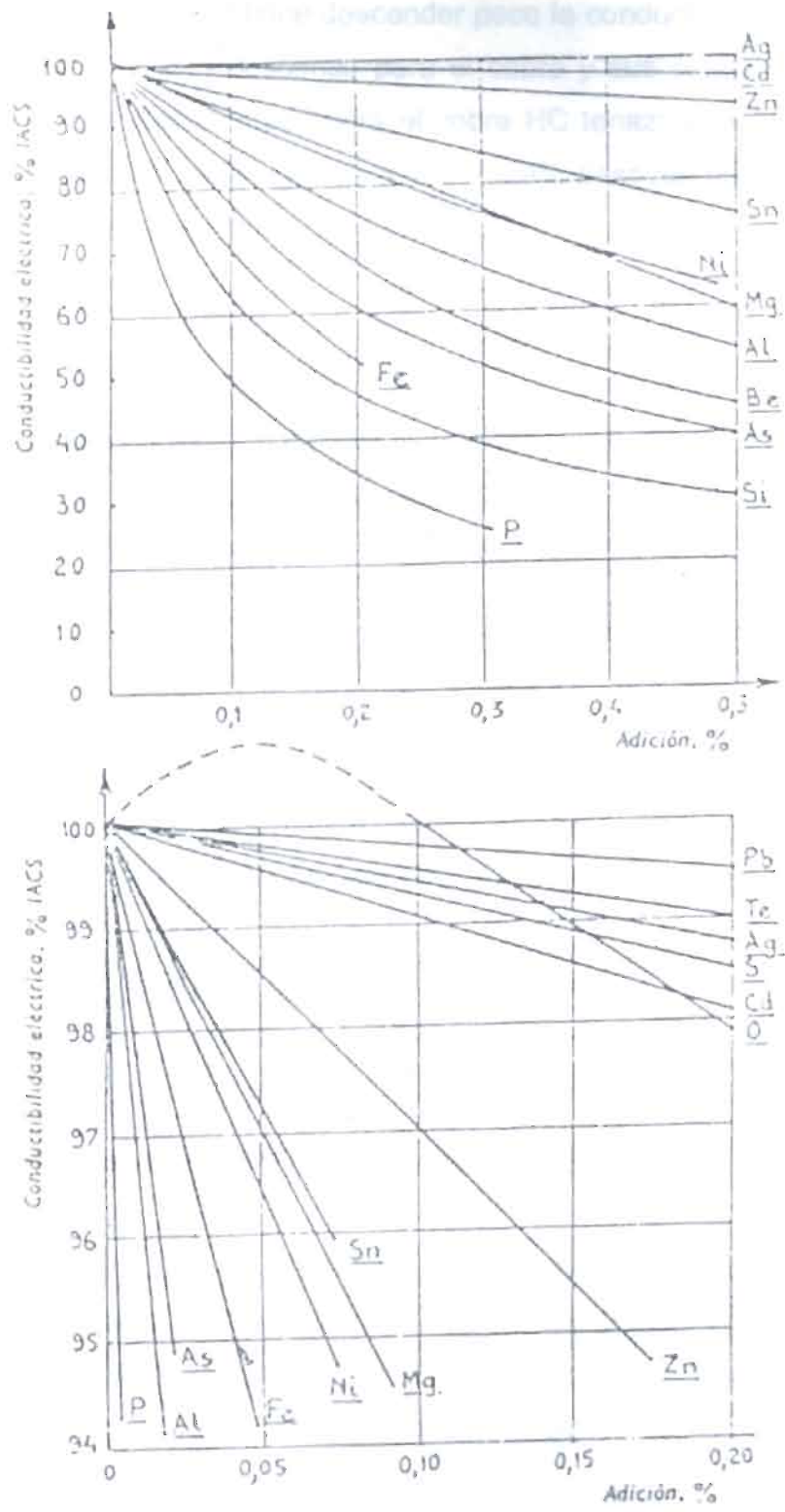


Figura 4. Influencia de las adiciones sobre la conductividad del cobre recocido.

Finalmente, la acritud hace descender poco la conductividad eléctrica o térmica dimitiéndose que el descenso para el cobre y sus aleaciones industriales no pasa del 1%. Por ejemplo, para el cobre HC tenaz: si la conductividad es del 100% en estado recocido, desciende al 99% después de una acritud obtenida por trefilado a temperatura ordinaria de:

$$(D^2 - d^2) / d^2 = 100$$

Si se consideran las modificaciones que originan las adiciones sobre las propiedades mecánicas por endurecimiento por solución sólida, se vuelve a hallar aproximadamente la misma clasificación, a excepción de algunos casos, como indica la figura 6.

- Oxígeno, Pb, Te, Se, Ag: Modifican muy poco la resistencia mecánica.
- Zn, Ni: la aumentan poco.
- Sn, Mg y Al: la incrementan sensiblemente.
- El Fe, As y P no aumentan prácticamente la resistencia mecánica

8.3. Cobres débilmente aleados.

8.3.1. Aleaciones que elevan la temperatura de recristalización.

Se agrupan en esta familia aquellas aleaciones que elevan en mayor o menor amplitud, la temperatura de recristalización, lo que permite sin reminiscencias la aplicación de endurecimiento por acritud. Entre las aleaciones más importantes de esta familia se encuentran:

a) Aleación Cobre-Plata.

La plata es el único metal con mayor conductividad que el cobre, por lo que su adición no implica descensos de la misma. Por otra parte, con sólo una

adición del 0.08% de plata, la temperatura de recristalización se eleva a 300°C . La figura 7 muestra la influencia de la adición de plata.

Además se ha comprobado que la adición de plata hace disminuir la velocidad de fluencia, siendo necesario en este caso un porcentaje del 0.20%. Se fabrica en forma de chapas para radiadores de automóviles y otros intercambiadores de calor.

Las adiciones de plata pueden efectuarse a un cobre "HC tenaz" o a un cobre OFHC. Por consiguiente encontraremos en la práctica cobre HC con plata ($\text{O}_2 = 0.050\%$ colado "tenaz") y cobre OFHC con plata. Las propiedades generales de estas calidades son las mismas que para el cobre sin alear. Se emplean en piezas sometidas a temperaturas de hasta 300°C .

b) Aleación Cobre-Arsénico.

Se emplea la adición de arsénico a cobres desoxidados con fósforo. El arsénico añadido en porcentajes del 0.15 a 0.50% eleva las características mecánicas en caliente y aumenta la resistencia a la corrosión en determinados ambientes.

En estado duro (84% acritud) la carga de rotura a 20°C es de 35 kg/mm^2 y de 29 kg/mm^2 a 200°C . Por otra parte, las deformaciones por fluencia lenta son mucho menores que las del cobre fosforoso sin arsénico para las mismas condiciones de trabajo. Sin embargo, la adición de arsénico hace bajar la conductividad térmica a valores entre $0.35 - 0.50\text{ cal.cm/cm}^2\text{s.}^{\circ}\text{C}$.

Se emplea en intercambiadores de calor, incluyendo tubos de condensadores y placas tubulares para agua dulce y limpia; tuberías para vapor, lubricación, etc.; calderas, recipientes y autoclaves y calderería en general que requiera soldadura blanda o fuerte.

8.3.2. Aleaciones de cobre endurecibles por envejecimiento.

Esta familia de aleaciones posee temperaturas de recristalización superiores a los 350°C , lo que permite el endurecimiento por acritud y además tienen la característica de permitir un endurecimiento notable por envejecimiento. Así pues, en estas aleaciones podemos realizar el proceso mixto de acritud y envejecimiento artificial que consigue el máximo de características mecánicas. Entre las aleaciones de esta familia cabe citar las aleaciones Cu-Zr, Cu-Cr y Cu-Be, muy utilizadas en la industria eléctrica. En este tema se incluye únicamente las Cu-Be.

Cobre-Berilio.

Es una familia que permite alcanzar propiedades mecánicas muy elevadas gracias al endurecimiento estructural por envejecimiento. Se fabrican principalmente dos aleaciones:

- a) Cu + 2% Be
- b) Cu + 0.4% Be + 2.6% Co (más barata que la anterior).

Tras el temple y la acritud puede conseguirse un gran escalonamiento de propiedades controlando la temperatura y el tiempo de envejecimiento. La carga de rotura puede oscilar desde 90 a 150 kg/mm^2 , correspondiendo a conductividades desde 0.25 a $0.30 \text{ cal.cm/cm}^2\text{s.}^{\circ}\text{C}$ en estado envejecido. Como ya se indicó, la conductividad es mínima en estado de temple homogéneo, siendo para esta aleación de $0.20 \text{ cal.cm/cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}$.

En caliente, a 400°C , la aleación tipo b) mantiene una carga de rotura de 40 kg/mm^2 .

El límite elástico es elevado, por lo que la aleación se suele utilizar para la fabricación de resortes, piezas de contacto, piezas resistentes al desgaste,

etc.; también en piezas de responsabilidad sometidas a altas presiones y componentes en equipos criogénicos. Las uniones pueden efectuarse con soldadura al arco bajo gas protector o mediante soldadura fuerte o blanda.

8.3.3. Aleaciones de cobre de fácil maquinabilidad.

Se incluyen las aleaciones con elementos que, por ser prácticamente insolubles en el cobre, facilitan la rotura de la viruta. Entre estas aleaciones se encuentran:

a) Aleación Cobre-Teluro.

Se obtienen por adición de 0.3 a 0.7% de Te a cobres tenaces o OFHC. El teluro es casi insoluble en el cobre a temperatura ordinaria y forma teluros que precipitan en bordes de grano facilitando la rotura de la viruta, con una maquinabilidad comparable a la de los latones con plomo.

La adición de teluro aumenta la temperatura de recristalización, es decir, retiene la acritud durante el calentamiento, como la plata pero de forma más intensa.

Sus características eléctricas son de 94 a 98% IACS, y las mecánicas son similares a las del cobre sin alear. Se emplea en piezas mecanizadas de formas complicadas o de precisión que al mismo tiempo deben tener una alta conductividad eléctrica o térmica. Se pueden soldar con soldadura fuerte o blanda pero no al arco, debido a la volatilización del telurio durante la soldadura.

b) Aleación Cobre-Azufre.

Una adición de 0.3 a 0.5% de azufre confiere al cobre las mismas propiedades que el telurio siendo la transformación de la aleación más sencilla y barata que con telurio.

c) Aleación Cobre-Plomo.

Un contenido de plomo de 0.5 a 1 % confiere al cobre una maquinabilidad elevada aunque un poco inferior a la de los Cu-Te y Cu-S. Esta aleación se emplea sobre todo en USA.

8.4. Aleaciones Cu-Zn (latones)

La adición de zinc al cobre mejora las características mecánicas de este y mantiene una resistencia a la corrosión bastante satisfactoria. La aleación con zinc es ventajosa en cuanto a coste, por el menor precio del zinc en el mercado.

El diagrama Cu-Zn de la figura 5 muestra la existencia de un amplio campo de existencia de la fase, α aproximadamente hasta el 40% de zinc, de estructura c.c.c. como la del cobre. Se puede ver también una fase β (50% de Zn a 200⁰C) de estructura c.c. Esta fase β se encuentra en desorden por encima de los 455-470⁰C. Por debajo de esta temperatura se transforma en solución sólida β' ordenada: un átomo de zinc en el centro de cada cubo. De ello resulta una dificultad de deformación en frío de la fase β' ordenada, mientras que la fase β por encima de los 450⁰C es muy dúctil.

En general, los latones pueden unirse por soldadura blanda y fuerte, soldadura oxiacetilénica y al arco bajo gas protector.

8.4.1. Latones α

Se denominan latones α a los que contienen hasta un 35% de zinc. Curiosamente, existe tanto incrementos de carga de rotura como de alargamientos, llegando a incrementos del 50%.

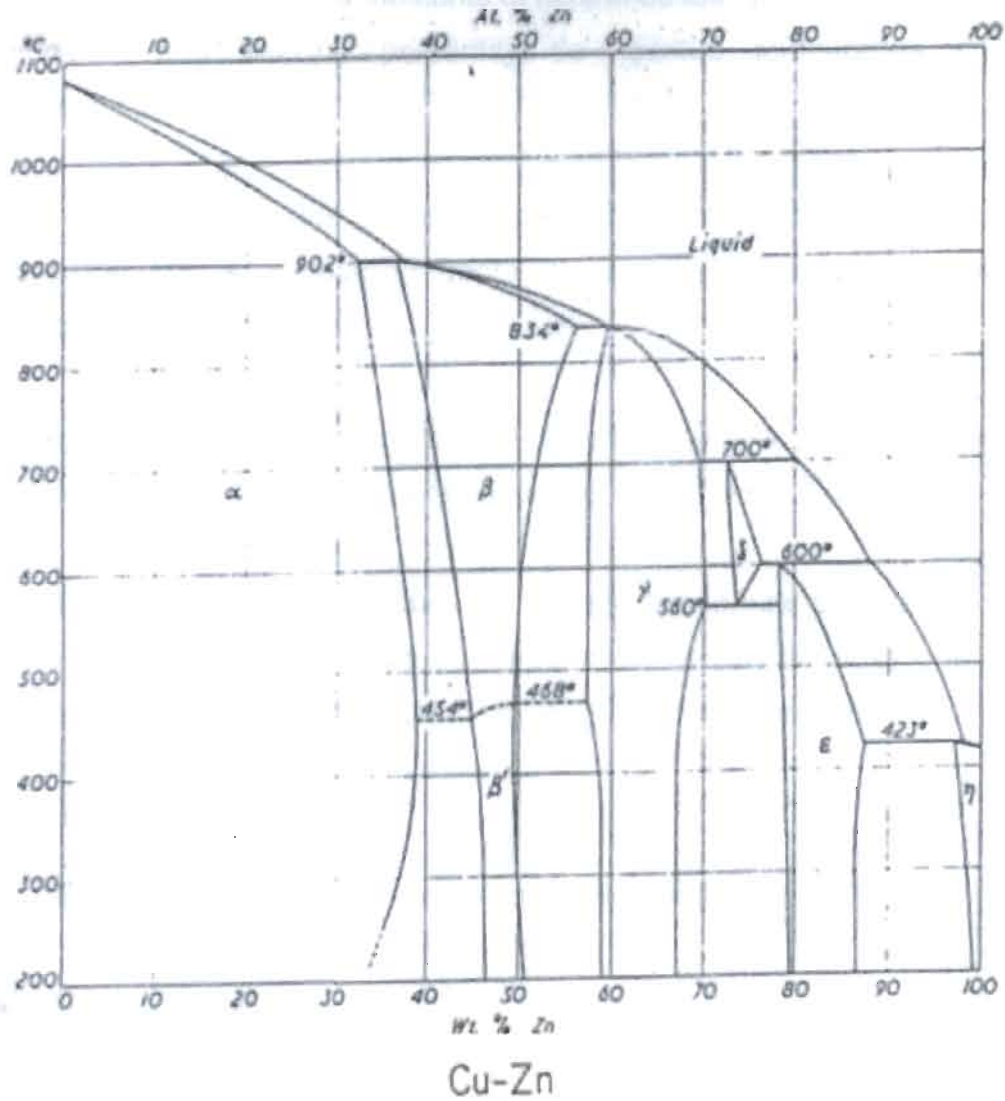


Figura 5. Diagrama de fases Cobre Zinc.

Por contra, la conductividad térmica disminuye con el contenido en zinc. Los latones α se caracterizan por su alta ductilidad, lo que facilita la obtención de piezas por embutición profunda. En estos casos el tamaño de grano es de vital importancia. En líneas generales sabemos que el tamaño de grano:

- no debe ser demasiado grande, para evitar la formación de "piel de naranja" o rugosidad de deformación.
- debe ser lo suficientemente grande para permitir deformaciones importantes.

- podemos controlarlo mediante el control de los parámetros del recocido de regeneración: porcentaje de acritud, temperatura y tiempo de recristalización.

Sin embargo los latones α presentan unos graves inconvenientes de corrosión que lo empeoran frente al cobre y lo inhabilitan para muchas aplicaciones. Estos son:

- a) En aguas puede originarse un ataque corrosivo selectivo denominado "descincado" o disolución preferencial del zinc frente al cobre.
- b) Cuando se les da acritud, o cuando se les somete a tensiones mecánicas externas (al mismo tiempo que al contacto con ciertas soluciones químicas) tiene lugar una rotura ínter cristalina a temperatura ordinaria denominada "corrosión bajo tensiones".

El descincado puede evitarse añadiendo elementos de aleación:

- Arsénico. Todos los latones α destinados a cambiadores de calor en contacto con líquidos corrosivos llevan arsénico en proporciones del 0.02 a 0.10%. Con sólo esta adición los latones 70-30 pueden emplearse en contacto con aguas dulces y limpias (cajas, tubos y aletas de radiadores). La conductividad térmica es de $0.29 \text{ cal.cm/cm}^2\text{s}^{-1}\text{C}^{\circ}$.
- Estaño. Este elemento amplía el campo de aplicación del latón a frente al descincado. La aleación anterior con un 1 % de Sn se aplica a cambiadores de calor en contacto con aguas de salinidad menor de 0.025% y velocidades de circulación menores de 1.5 m/s Se emplea en intercambiadores de calor para refinerías y centrales de energía. La conductividad térmica es de $0.26 \text{ cal.cm/cm}^2\text{s}^{-1}\text{C}^{\circ}$.

- Aluminio. La capa de alúmina que forma el aluminio en la corrosión hace al latón más resistente a la abrasión. Un caso típico es el latón 76/22 con 2% de Al + 0.03 As que resiste aguas contaminadas ácidas y agua de mar con velocidades de hasta 3 m/s. La conductividad térmica de esta aleación es de $0.24 \text{ cal.cm/cm}^2 \text{ s } ^\circ\text{C}$.

La corrosión bajo tensiones puede evitarse:

- Mediante un tratamiento térmico "contra tensiones" dado a los productos con acritud (1/2 hora a $275\text{-}300^\circ\text{C}$), que no modifica prácticamente las propiedades mecánicas.
- Reduciendo el contenido en Zn. Se estima que con porcentajes de zinc menores del 10% no se produce corrosión bajo tensiones.
- Evitando los cambios bruscos de temperatura, sobre todo el frío.
- Añadiendo fósforo, que actúa disminuyendo la tendencia a la corrosión bajo tensiones.

8.4.2. Latones $\alpha + \beta$

Se denominan así los latones conteniendo entre 35-45% de zinc. La aleación más característica de este tipo es el latón naval 60/39 con 1% de estaño, que es resistente al agua de mar y se emplea en la construcción de placas tubulares para condensadores y cambiadores de calor. Tiene un límite elástico de 15 kg/nm^2 , un alargamiento del 8% y una conductividad térmica a 20°C de $0.30 \text{ cal cm/cm}^2 \text{ s } ^\circ\text{C}$.

8.5. Aleaciones cu-al (bronces al aluminio).

Estas aleaciones muestran inalterabilidad frente a la corrosión y resistencia mecánicas superiores a las del cobre y los latones.

8.5.1. Cupro-aluminio α

Se emplean los porcentajes entre el 4 al 7% de Al. Hasta el 5% de Al el cuproaluminio α es prácticamente insensible a la corrosión bajo tensiones, incluso en estado de acritud. Su conductividad térmica es del orden del 15% de la del cobre. Sus características mecánicas se indican a continuación:

Estado	Características mecánicas		
	R (kg/mm ²)	E (kg/mm ²)	A %
Recocido	38	13	70
Acritud 10 %	46	22	50
Acritud 50 %	60	37	20
Acritud 400 %	85	70	4

Se emplea en la construcción de intercambiadores en forma de planchas que sirven de soporte para el montaje de los haces tubulares.

8.5.2. Cupro-aluminio $\alpha + \beta$

Contiene porcentajes de aluminio entre el 9 y el 11 %, pero siempre se emplea aleado con adiciones importantes de hierro, níquel y manganeso. Su utilización presenta grandes ventajas por las características siguientes:

a) Inoxidabilidad frente a numerosos agentes corrosivos:

- Agua de mar a temperaturas altas o bajas, incluso a velocidades altas.

- Ácidos, bases y sales corrosivos.
- Hidrocarburos

b) Resistencia a la cavitación especialmente en agua de mar.

c) Resistencia a la erosión y al desgaste por frotamiento.

c) Excelentes características mecánicas, incluso a los choques y la fatiga, especialmente si la pieza se halla sometida a corrosión.

Elementos de aleación que favorecen el endurecimiento por deformación

Aleación	Estado	Tens. Máx. MPa	Tens. Fluencia MPa	% Elongación	Conduct IACS
Cu-a1	0	230	60	45	100
Cu-a1	H14	350	320	6	
CuCd (1,0%)	0	260	80	45	86
CuCd (1,0%)	H14	520	480	3	
CuCdO, 8 SnO	0	280			67
CuCdO, 8 SnO	H14	760			62

Los cobres con cadmio se usan para líneas eléctricas aéreas de fuerte sollicitación mecánica, catenarias y cables de contacto para trolebús.

8.5.3. Elementos que elevan la temperatura de recristalización

Estos elementos permiten que se mantenga el endurecimiento por deformación cuando se eleva la temperatura. Todos los elementos que se disuelven en solución sólida elevan la temperatura de recristalización, así por ejemplo:

Un 0,8% de Ag eleva la temperatura de recristalización en 150°C.

Un 0,12% de Sn permite que el cobre pueda calentarse hasta 350°C por una hora sin perder sus características mecánicas. Esta aleación es interesante para fabricar soportes de componentes electrónicos como son: transistores, diodos o circuitos integrados.

El CuAl_2O_3 comienza su recristalización hacia los 900°C.

Elementos que favorecen el mecanizado

El azufre y el plomo mejoran la aptitud para el mecanizado, tanto el plomo como el azufre tienen muy baja solubilidad en el cobre, separándose como plomo, en el primer caso, o como Cu_2S , en el segundo. Estos colaboran a fracturar las virutas en los procesos de mecanizado.

El cobre con azufre mantiene alta conductividad eléctrica, alrededor de 94 IACS.

8.5.4. Cuproaluminios monofásicos (α)

La solubilidad sólida del Aluminio en el Cobre a 565°C llega hasta un 9,4% de Al, si bien en la práctica los cuproaluminios monofásicos (α), llegan hasta el 8% de Al.

Se caracterizan por ser resistentes mecánicamente y aptos para la deformación en frío, presentando además buena resistencia a la corrosión. Son particularmente adaptados para la deformación en frío, permitiendo la fabricación de laminados y de tubos, dado que su endurecimiento por deformación es más elevado que el de los latones. La deformación en caliente sólo es posible si las impurezas (Pb, Si) son estrictamente controladas.

La resistencia a la corrosión atmosférica de estas aleaciones es buena y presentan un hermoso color dorado. Respecto de la corrosión en agua de mar resisten bien la corrosión selectiva llamada desaluminización. Estas aleaciones son menos sensibles que los latones a la corrosión bajo tensión en ambiente amoniacal, sin embargo son muy sensibles a la corrosión ínter granular bajo tensión en presencia de vapor sobrecalentado, agua de mar o salmueras calientes, este fenómeno se reduce agregando de 0,15 a 0,3 % de Sn.

Las principales aleaciones son: CuAl_6 y CuAl_6Ni_2 para aleaciones monetarias, CuAl_8 y CuAl_7Fe_2 para placas tubulares de intercambiadores de calor.

8.5.5. Cuproaluminios bifásicos β

Cuando el porcentaje de Aluminio supera el 8%, sobre 900°C aparece la fase β y se entra en una región bifásica, sobre 9,5 % de Al aparece la posibilidad de la transformación eutectoide (565°C) apareciendo la fase α_2 , que es dura y fragiliza el material. Si este tipo de aleación con fase α es templada rápidamente hasta temperatura ambiente se produce una transformación martensítica similar a la de los aceros, consistente en una fase meta estable de estructura tetragonal llamada α' .

Como ejemplo consideremos una aleación $\text{CuAl}_{9,8}$ enfriada de diferentes maneras a partir de 900°C , luego de calentamientos de 1 hr:

Si se temple hasta temperatura ambiente la estructura será casi pura martensita β' , tendrá alta resistencia y baja ductilidad.

Si se enfría lentamente hasta 800°C o hasta 650°C y luego se temple hasta temperatura ambiente, se formará una cantidad menor de martensita β' , disminuyendo su resistencia y aumentando su ductilidad.

Sin embargo, si se enfría lentamente hasta 500°C , debajo de la temperatura eutectoide, y luego se temple hasta temperatura ambiente, la fase β se descompone en $\alpha + \beta_2$, la que se denomina "perlita de cuproaluminio", la aleación tendrá en este caso baja resistencia y baja ductilidad, esto debido a la presencia de la fase β_2 que es frágil. La fase β_2 se evita en las aleaciones industriales por su efecto dañino para la ductilidad. Las diversas microestructuras obtenidas se muestran en la Figura 6

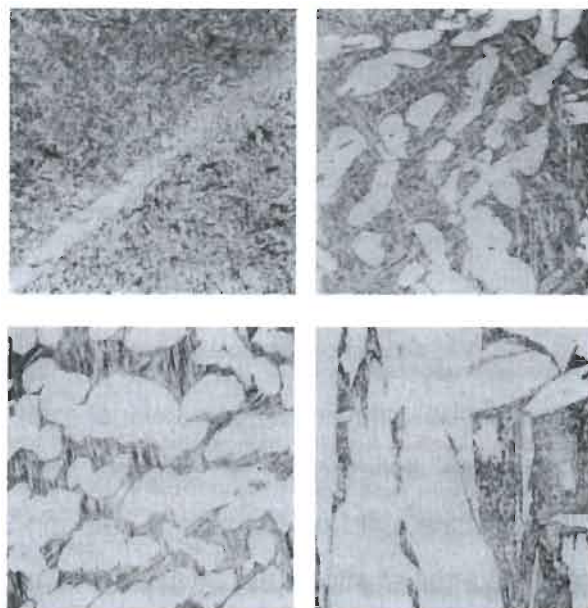


Figura 6. Microestructuras obtenidas en CuAl. El tratamiento térmico más corriente para la aleación CuAl_{10} consiste en temple desde 900°C , que resulta en una estructura completamente martensítica β' , y luego revenido a temperaturas entre 400°C y 650°C .

Propiedades mecánicas con distintos tratamientos térmicos se muestran en la siguiente tabla:

Tratamiento Térmico	Tens. Fluencia Mpa	Tens. Máx Mpa	% Elongación	Dureza Bhn
CuAl9,8 Calentamiento a 900°C seguido de:				
Temple hasta temperatura ambiente	320	680	4	225
Enfriamiento lento hasta 800°C + temple	300	600	9	216
Enfriamiento lento hasta 600°C + temple	150	430	17	138
Enfriamiento lento hasta 500°C + temple	135	300	5	136
CuAl9,4				
Calentamiento a 900°C seguido de:				
Temple hasta temperatura ambiente	190	760	29	187
Temple + revenido 1 hr a 400°C	210	760	29	185
Temple + revenido 1 hr a 600°C	240	700	34	168
Temple + revenido 1 hr a 650°C	220	650	48	150

Tabla 3. Tratamientos térmicos en cobres aluminicos

La figura 7 muestra la variación de las propiedades mecánicas de aleaciones de cuproaluminios en función de variaciones en el % de Aluminio. La tensión máxima y la elongación aumentan en las aleaciones monofásicas (de 0 a 8% de Al), a medida que la fase α aumenta la tensión máxima sigue aumentando, pero la elongación disminuye drásticamente.

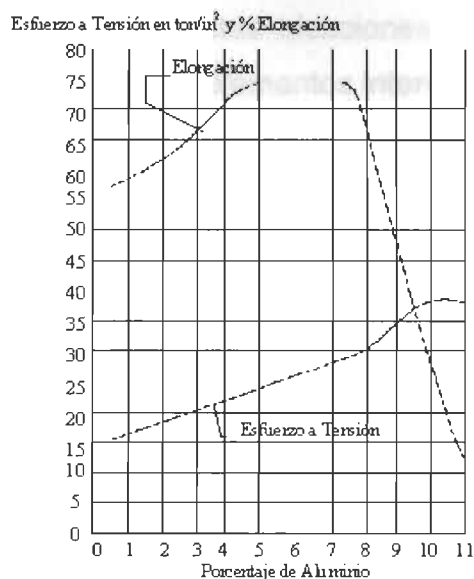


Figura. 7 la variación de las propiedades mecánicas de aleaciones de cuproaluminios en función de variaciones en el % de Aluminio

Debido a la fase \square estas aleaciones son particularmente aptas para el trabajo en caliente y la soldadura. Estas aleaciones bifásicas o polifásicas son poco sensibles a la corrosión bajo tensión en medio amoniacal, además, son insensibles a la corrosión bajo tensión en presencia de vapor sobrecalentado, de agua de mar o de salmueras calientes.

Algunas aleaciones típicas son:

$\text{CuAl}_9\text{Ni}_3\text{Fe}_2$ y $\text{CuAl}_9\text{Ni}_5\text{Fe}_3$, se utilizan principalmente en la fabricación de placas tubulares y planchas para calderería.

Cuproaluminios de fundición

Contienen generalmente entre un 9 y un 12% de Aluminio, son en general aleaciones bifásicas o polifásicas. Algunas aleaciones principales son: $\text{CuAl}_9\text{Ni}_3\text{Fe}_2$; $\text{CuAl}_{10}\text{Fe}_3$, $\text{CuAl}_{10}\text{Fe}_5\text{Ni}_5$ y $\text{CuAl}_{12}\text{Fe}_5\text{Ni}_5$. El Ni ayuda a evitar la desalinización, mientras que el Fe, Ni y Mn mejoran aún más las

propiedades mecánicas. Estas aleaciones se utilizan principalmente en bombas, hélices, turbinas y elementos intercambiadores de calor.

8.6. Aleaciones cupro- níquel

El cobre y el níquel son mutuamente solubles en todas las proporciones como lo indica el diagrama de fases de la Figura 8

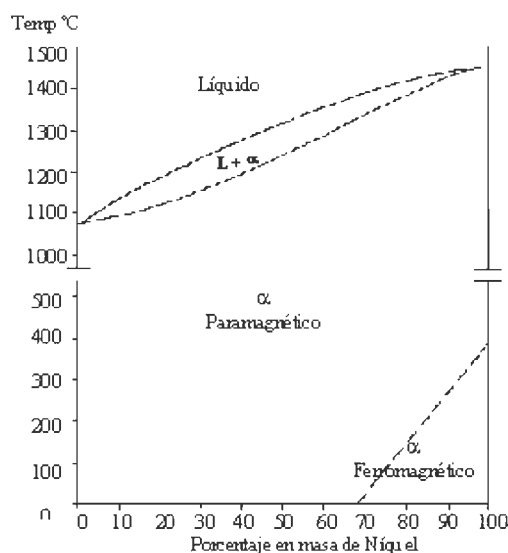


Figura 8. Diagrama de fases cobre níquel

Los cuproníqueles se caracterizan por:

Excelente resistencia a la corrosión, especialmente en agua de mar en movimiento

Insensibilidad a la corrosión bajo tensión

Mantienen la resistencia mecánica a temperaturas de 300 a 400 °C

Conductividad eléctrica y térmica relativamente débil.

Se usan principalmente en intercambiadores de calor, especialmente en aquellos que trabajan con agua de mar y también en monedas.

Se conforman bien en frío y se sueldan bien si tienen una pureza bien controlada.

Las principales aleaciones contienen entre 5 y 45% de Ni, se agrega un poco de Mn para transformar todo el azufre de la aleación en MnS. El CuNi₄₄Mn se caracteriza por una resistividad eléctrica constante frente a variaciones en la temperatura de trabajo. Las adiciones de Fe se efectúan para mejorar las características a la corrosión-erosión en agua de mar; además mejora sus propiedades mecánicas.

Estas aleaciones tienen una propiedad muy importante que es el rechazar los organismos marinos, esta propiedad se llama antifouling, es primordial porque en equipos que trabajan con agua de mar se van depositando organismos marinos que dificultan la circulación del agua y estimulan la corrosión.

Aleaciones más importantes utilizadas son: CuNi₁₀Fe₁Mn, CuNi₃₀Mn₁Fe. Como se muestra en la tabla 4

Aleaciones Binarias	Tensión de Ruptura MPa	Límite Elástico 0.2% (Mpa)	% Elongación	Dureza Vickers
CuNi ₅	270	90	45	65
CuNi ₂₀	330	135	43	85
CuNi ₂₅	350	145	43	90
CuNi ₃₀	360	150	40	95
CuNi ₄₄ Mn	470	200	40	110
Aleaciones con adición de Hierro				
CuNi ₅ Fe	280	100	40	70
CuNi ₅ Fe ₁ Mn	320	120	40	75
CuNi ₅ Mn ₁ Fe	375	155	40	100

Tabla 4. Síntesis de propiedades mecánicas de aleaciones cuproníquel

Los cuproníqueles se pueden conformar en planchas y en tubos, además se pueden usar para piezas fundidas, en general llevan la adición de hierro

8.7. Soldadura en los cobres y sus aleaciones.

El cobre y sus aleaciones ofrecen una combinación única de propiedades entre las cuales las más importantes son la conductividad y resistencia a la corrosión. En manufactura el cobre es unido por soldadura y la soldadura de arco es la más importante de estos procesos. La soldadura de arco puede ser dividida en SMAW, GTAW, GMAW, PAW y SAW. En todos estos procesos los factores que establecen la soldabilidad son la conductividad térmica y el tipo de aleación con referencia al rango de solidificación y los elementos con bajo punto de fusión.

GTAW es el más usado por su intenso calor de entrada localizado, el cual es particularmente necesario en las aleaciones de alta conductividad. Secciones hasta de media pulgada pueden ser soldadas por este proceso pero el límite más común es 1/8". En soldaduras de secciones delgadas donde el calor de entrada es crítico, el modo de corriente pulsada puede ser empleado.

Para secciones más grandes que 1/2" GMAW es el proceso indicado.⁽²⁾

SMAW es el proceso más viejo y sigue siendo empleado por su simplicidad, versatilidad y habilidad para unir juntas inaccesibles.

Por la formación de óxidos y la volatilidad de elementos que acompañan a la soldadura de arco el brazing es requerido en algunas ocasiones.

8.7.1. Efecto de los elementos de aleación en la soldadura.

Muchos elementos tienen pronunciados efectos en la soldadura de las aleaciones de cobre. Pequeñas cantidades de elementos tóxicos y volátiles están comúnmente presentes en las aleaciones de cobre por lo que se debe tener un mayor cuidado y mejor ventilación que para las aleaciones ferrosas.

Elementos de bajo punto de fusión como el plomo y azufre que son adheridos para mejorar la maquinabilidad, causan susceptibilidad al agrietamiento en caliente en la soldadura. Este efecto empieza a ser evidente en porcentajes desde 0.05% y es más severo en mayores cantidades.

Zinc. Reduce la soldabilidad de todas las aleaciones de cobre. Vapores tóxicos son emitidos cuando son soldados

Zinc (Zn). Es el mayor constituyente aleante en las aleaciones de cobre Cu1 y Cu2. El Zn es soluble en el cobre hasta en un 37% a temperatura ambiente. Debido a su baja temperatura de sublimación, el Zn se pierde como resultado de un ligero sobrecalentamiento durante la soldadura. Los electrodos de soldadura deberán por lo tanto contener una concentración de suficiente de Zn (38-42%) para asegurar que el charco de soldadura contenga una cantidad adecuada de la dura, fase sólida b. Como la fase b es suave y maleable entre los 470 °C y el punto de fusión, las rajaduras en caliente no pueden originarse de la fase b.

Aluminio (Al). Este contenido en las aleaciones de cobre Cu 3 y Cu 4 en concentraciones entre 8-9,5%. En conjunto con pequeñas concentraciones de Ni, Fe y Mn incrementa el esfuerzo mecánico y la dureza de estos bronce para hélices. Cuando el contenido de Al excede de 9,5 % ambas características estructurales, eutéctica y martensita dura son posibles. Si lo último ocurre para cualquier extensión considerable como una formación continua en el área de la hélice que está siendo soldada, ello resultará en un endurecimiento rajándose después de la soldadura. Como el aluminio rápidamente forma óxidos refractarios (Al_2O_3) en la superficie causa dificultades cuando se empieza a soldar, es recomendable emplear un proceso de soldadura de gas inerte (por ejemplo soldadura TIG). Si el contenido de aluminio de las aleaciones fundidas de cobre Cu 3 y Cu 4 cae por debajo del 8% puede fácilmente resultar en rajaduras en caliente durante la soldadura.

Plomo y azufre: mejor maquinabilidad mayor susceptibilidad al agrietamiento en caliente en % mayores a .05.

Be, Al, Ni: forman capas adherentes de óxido las cuales deben ser removidas antes de la soldadura.

Níquel (Ni). Es completamente soluble en cobre. En la estructura cristalina éste forma núcleos duros de níquel que son rodeados por suaves formaciones de cobre. Mientras todas las aleaciones cobre níquel muestran buena soldabilidad, éstas tienden a bajar la ductilidad en presencia de un rango de trazas de elementos. Es importante que todas las aleaciones cobre-níquel deban contener una cantidad suficiente de constituyentes desoxidantes y desulfurantes como el manganeso.

Mn. Es altamente soluble en cobre. Tiene un efecto desoxidante y desulfurante e incluso cuando se encuentra a bajas concentraciones mejora la soldabilidad. Altas concentraciones de manganeso (encima de 8%) extienden el rango de solidificación de la fusión, facilitando la nucleación y fundición de muchas aleaciones.

Fe. Incrementa la resistencia mecánica por precipitación. El hierro facilita los núcleos para la formación de granos y por consiguiente tiene la propiedad de afinar el grano.

Pb. Es el elemento más perjudicial en la soldabilidad de los bronce, ya que es prácticamente insoluble en otros constituyentes aleantes, incluyendo el cobre, y es conservado puro entre los límites de grano. Se funde a temperatura baja a 290 °C; un excesivo contenido de plomo induce a la rotura del material cuando se suelda

Sn. Si el metal de soldadura y el material base contienen insuficientes elementos desoxidantes como fósforo y manganeso, fácilmente forman óxidos que pueden permanecer en la soldadura y pueden hacerla quebradiza. El máximo contenido de estaño no deberá exceder de 0,05 % en las aleaciones fundidas de cobre Cu1 y Cu2, 0,1 % en Cu3 y 0,2 % en Cu4.

8.7.2. Factores que afectan la soldabilidad⁽²⁾

Conductividad térmica. Entre menor sea la conductividad de la aleación estas requerirán precalentamiento, la temperatura de interpase debe ser igual al precalentamiento. Enfriamiento controlado.

Gas de protección. Argón ó argón-helio. Helio solo es preferido cuando se necesita gran heat input, este proporciona tres veces más entrada de calor que el argón con la misma corriente.

Aleaciones endurecibles por precipitación. Be, Cr, Br, Ni, Si, Zr.

Evitar oxidación y fusión incompleta.

Cuando sea posible soldar en condición de recocido.

Dar tratamiento de endurecimiento por precipitación.

Agrietamiento en caliente. Las aleaciones con un rango muy estrecho entre las T_I y T_s como el Cu-Ni son susceptibles al agrietamiento en temperaturas de solidificación.

Precalentamiento.

Porosidad. Zn, Cd, se vaporizan por el bajo punto de fusión produciendo poros.

Rápida vel. De avance

Aporte con bajos elementos.

El plomo es insoluble en esta aleación por lo que aparece como partículas aisladas y dispersas en la estructura.

Ni 100% soluble.

9.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

9.1 Caracterización del material

9.1.1. Dureza

Se realiza un ensayo de dureza con el fin de seleccionar un metal de aporte que nos proporcione una cantidad similar.

Se mide la dureza en brinell ya que el material es vaciado. De acuerdo a la especificación ASTM E10.

230 BHN

9.1.2. Análisis químico

Se realiza un análisis químico para corroborar la información proporcionada por FAMA S.A. de C.V. y seleccionar el metal de aporte que se ajuste al material base. De acuerdo a la especificación ASTM E1085 2004

Sn=0.32% en peso

Pb=0.13%

Zn=9.18%

Fe=2.47%

Ni=14.2%

Mn=0.22%

Al=8.88%

Sb=<0.01%

Cu=Balance

9.1.3. Análisis metalográfico.

Las metalografías tomadas son de las muestras soldadas en FAMA S.A. de C.V. Se tomaron en el metal base, en la soldadura y en la interfase MB-soldadura. De acuerdo a la especificación ASTM E3.

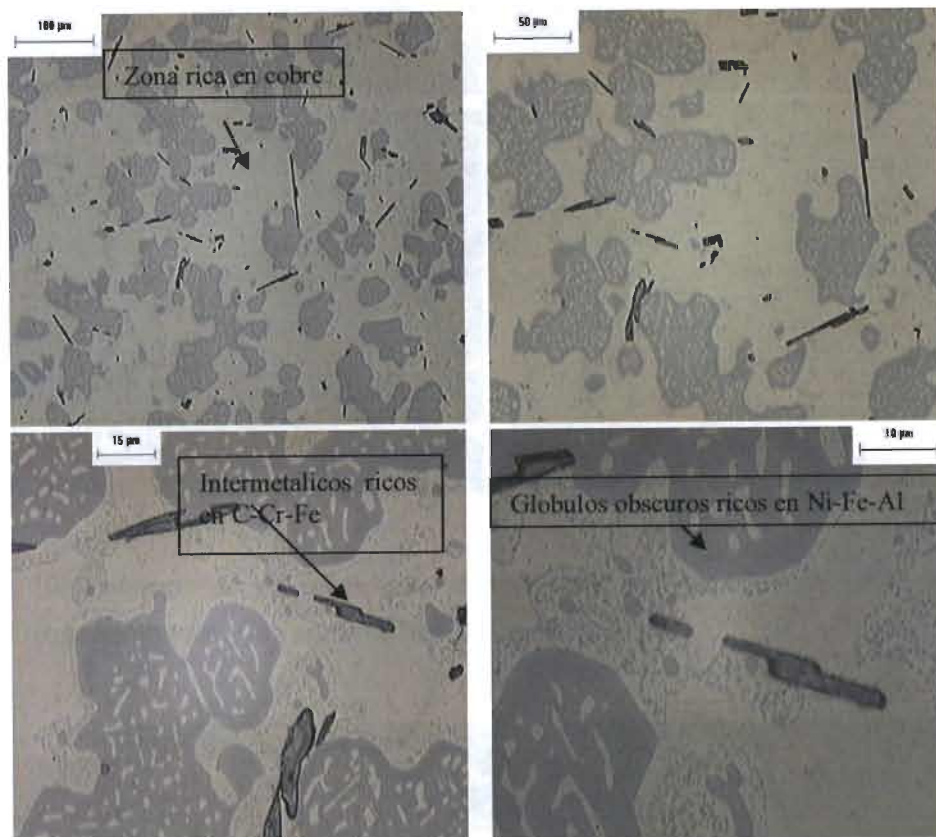


Fig. 9. Metalografías de metal base tomadas a magnificaciones de 100x, 200x, 500x, 1000X respectivamente. Se muestra una zona a clara rica en cobre con glóbulos oscuros.

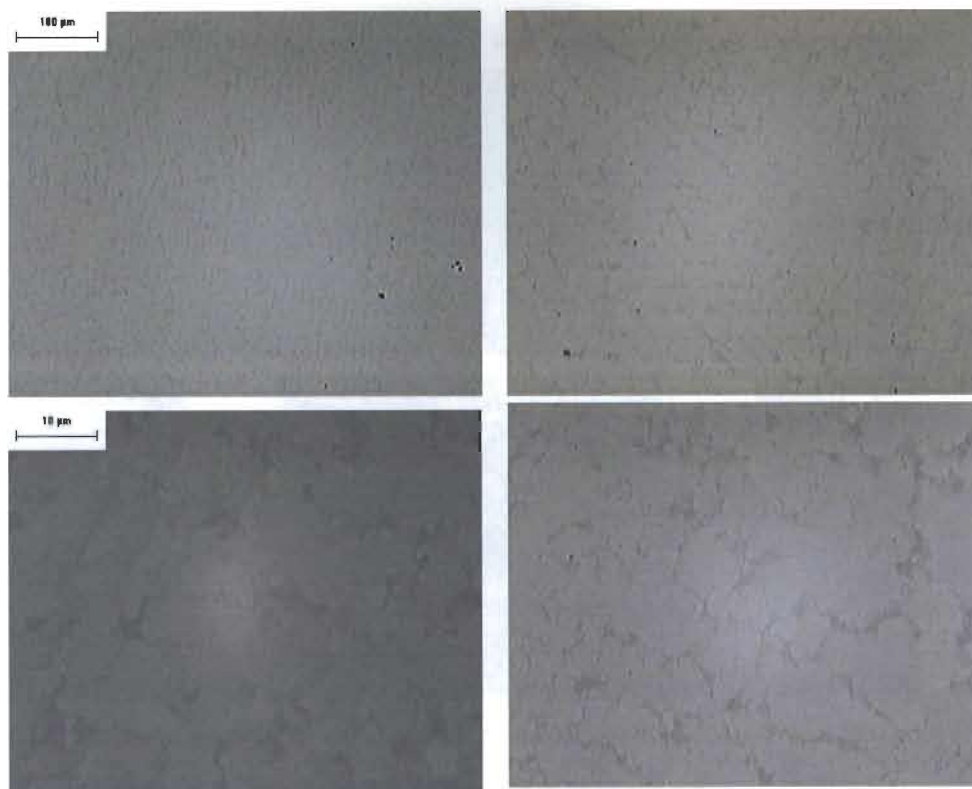
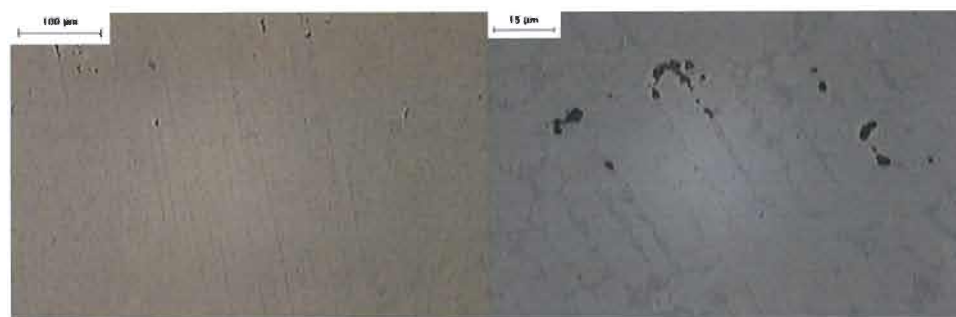


Figura 10. Metalografías de soldadura tomadas en magnificaciones de 100X, 200X, 500X, 1000X respectivamente. Con una sola fase a rica en níquel.



Soldadura a 100X

Soldadura a 500X

Figura 11. Metalografías de la soldadura a 100x y 500x. se muestran las líneas de enfriamiento de la soldadura en la alineación de los granos.

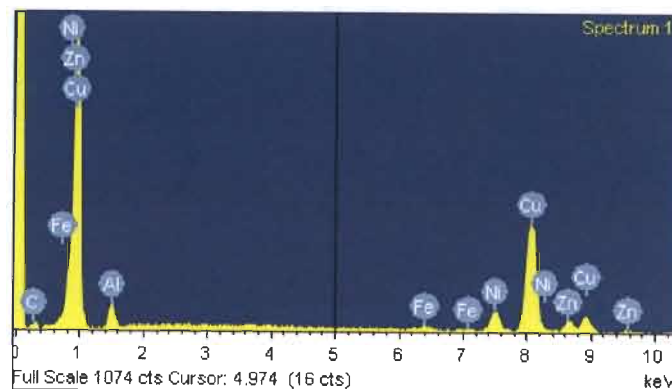
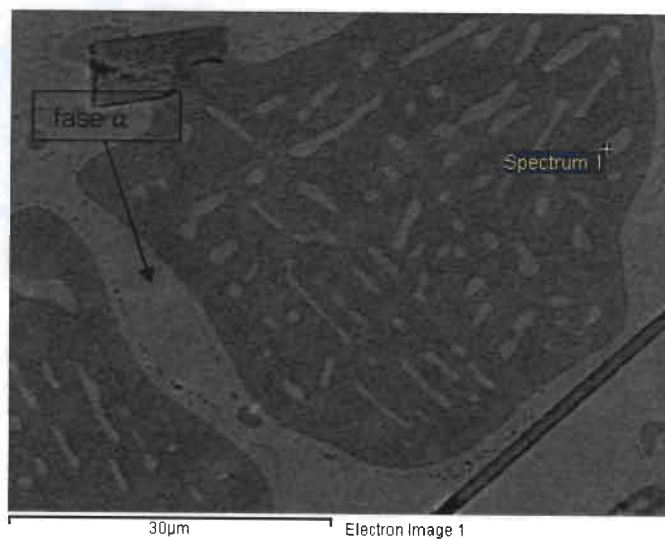


Figura 12. Interfase tomada a magnificaciones de 100X, 200X, 500X, 1000X respectivamente en la cual se observa una estrecha zona afectada por el calor.

9.1.4. IDENTIFICACION DE FASES

Se realizo un análisis de microscopia electrónica de barrido en la cual se identificaron las siguientes fases:

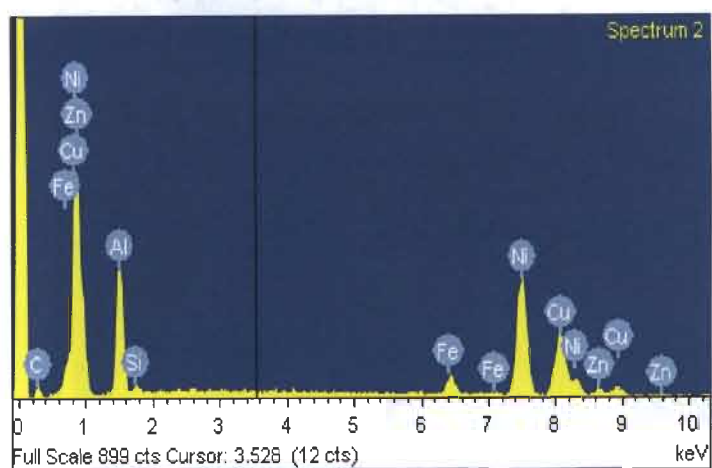
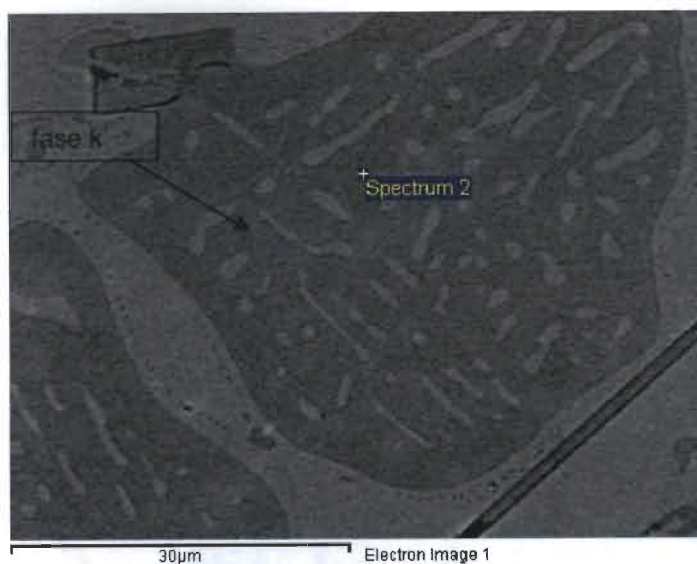
Elemento	Peso %
C	7.46
Al	4.37
Fe	0.91
Ni	8.77
Cu	69.89
Zn	8.6
TOTAL	100.00



Observaciones

En la zona clara (fase α) la cual es la matriz de cobre se observa un 70% de este material acompañado de níquel y zinc principalmente con algunas trazas de aluminio.

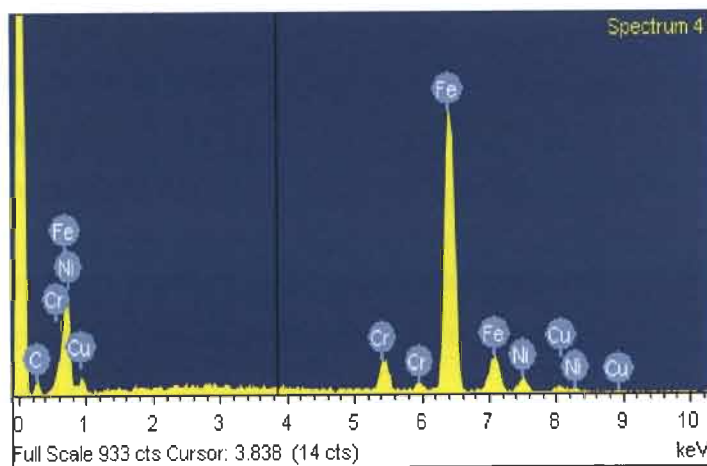
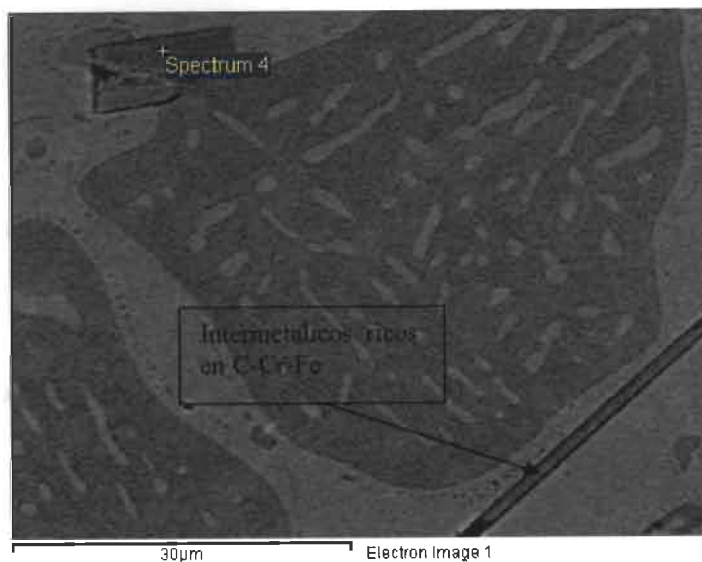
Elemento	Peso %
C	8.25
Al	14.4
Si	1.00
Fe	3.21
Ni	42.31
Cu	27.34
Zn	3.49
TOTAL	100.00



Observaciones

En la zona oscura se observa que la presencia de NiFeAl produce una nueva fase denominada k por la descomposición de β en $\alpha + k^{(3)}$

C	8.55
Al	0.00
Si	0.00
Fe	78.06
Ni	5.50
Cu	2.82
Zn	0.00
TOTAL	100.00



Observaciones

Se observan unos intermetalicos los cuales son carburos de hierro y una pequeña cantidad de carburos de cromo.

9.2. Experimentación

Se utilizan cuatro muestras para la experimentación las cuales se realizan en las siguientes condiciones:

De acuerdo a las precauciones que se deben tomar al momento de seleccionar un metal de aporte, debe ser bajo en zinc, plomo y estaño.

Metal de aporte bronsomatic con especificación AWS 5.7 ECuAl-A2.

Temperatura ambiente, sin precalentamiento ni postcalentamiento.

Maquina soldadora de arco Miller MI 250 CA/CD AF.

Electrodo de tungsteno toriado al 2% en GTAW.

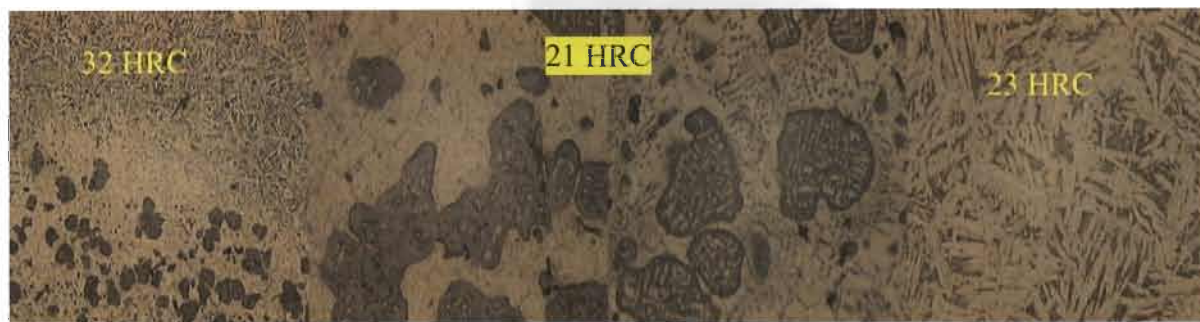
Gas de protección argón en GTAW.

Enfriamiento de antorcha con aire en GTAW.

El metal de aporte utilizado en los experimentos se consiguió solamente recubierto por lo que para el proceso GTAW se desprendió el recubrimiento para utilizarlo como electrodo desnudo.

EXP	CORRIENTE	AMPERAJE	FLUJO	APORTE
1	CD	75 amp		Bronce Aluminico
2	CD	125 amp		Bronce Aluminico
3	CA	135 amp	15 ft ³ /hr	Bronce Aluminico
4	CA	150 amp	15 ft ³ /hr	Bronce Aluminico

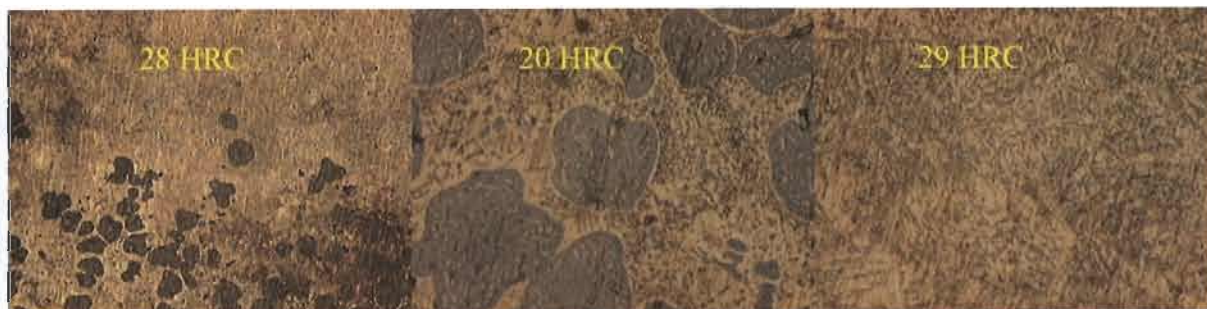
9.2.1. Análisis metalográfico



INTERFASE 100X 75 AMP	MB 500X 75 AMP	SOLD 500X 75 AMP
-----------------------	----------------	------------------



INTERFASE 100X 125 AMP	MB 500X 125 AMP	SOLD 500X 125 AMP
------------------------	-----------------	-------------------



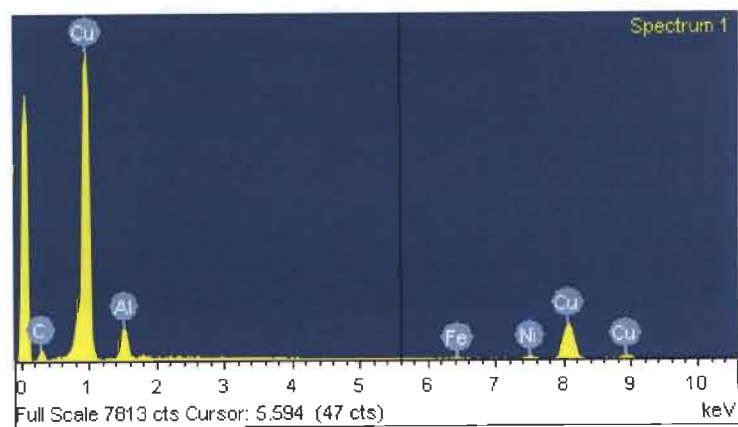
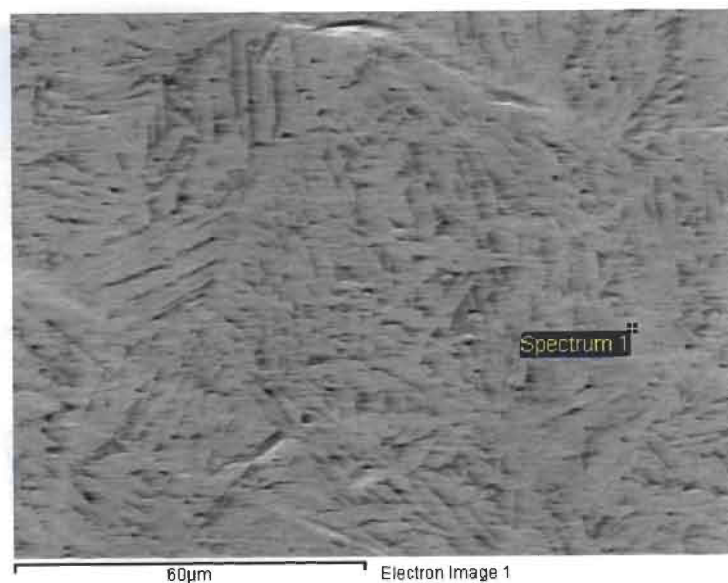
INTERFASE 100X 135AMP	MB5 00X 135AMP	SOLD 500X 135AMP
-----------------------	----------------	------------------



MAPEO 100X 150AMP	MB 500X 150 AMP	SOLD 500X 150AMP
-------------------	-----------------	------------------

C.D. 75 AMP SMAW

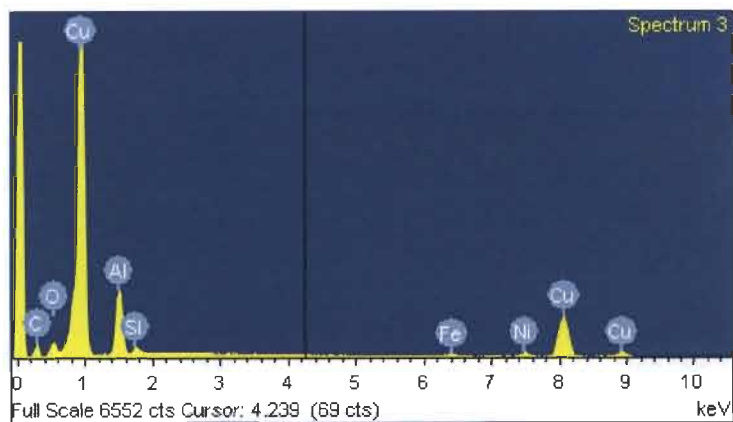
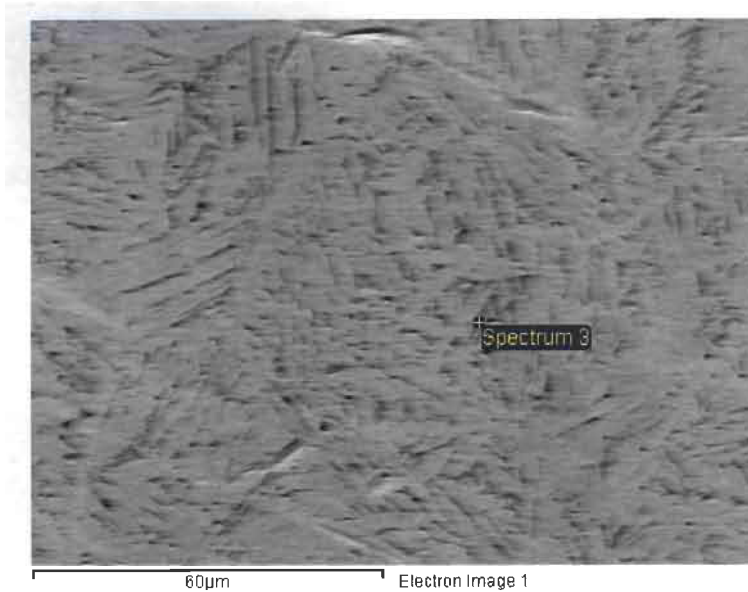
C	10.54
Al	5.89
Si	0.00
Fe	1.25
Ni	3.52
Cu	78.79
Zn	0.00
TOTAL	100.00



Observaciones: estructura martensítica en zona clara con predominancia de cobre.

C.D. 75 AMP SMAW

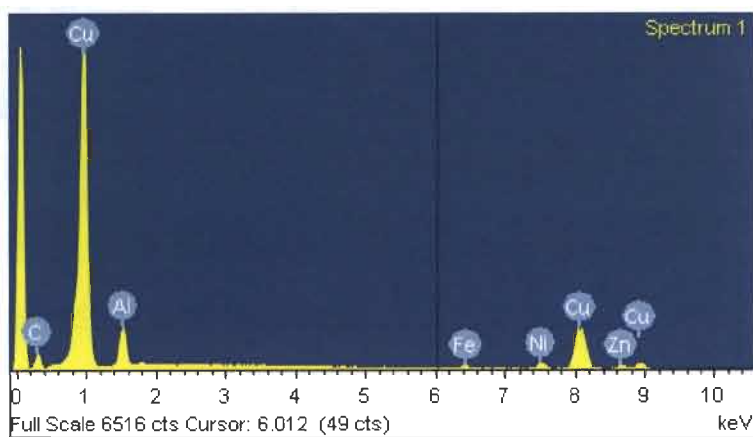
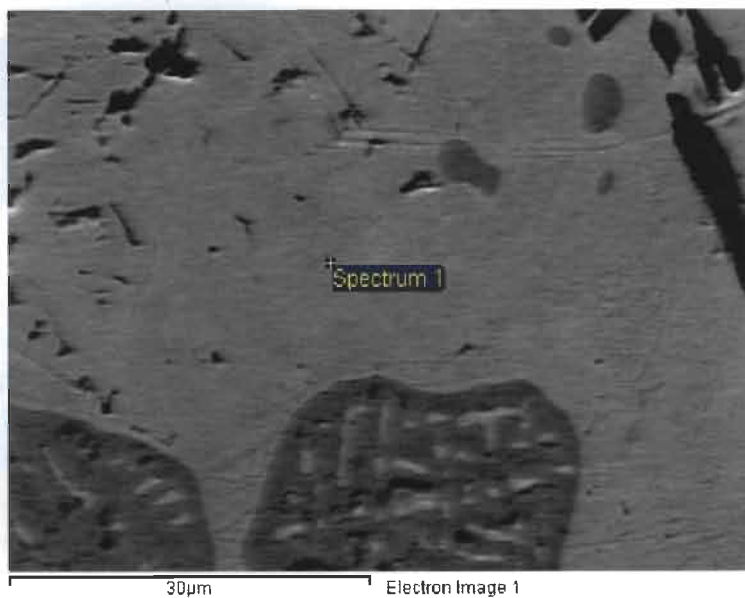
C	9.09
O	3.05
Al	9.46
Si	0.76
Fe	1.74
Ni	5.14
Cu	70.76
Zn	0.00
TOTAL	100.00



Observaciones: en la zona oscura se nota un pequeño incremento en la cantidad de níquel.

C.D. 75 AMP ZAC SMAW

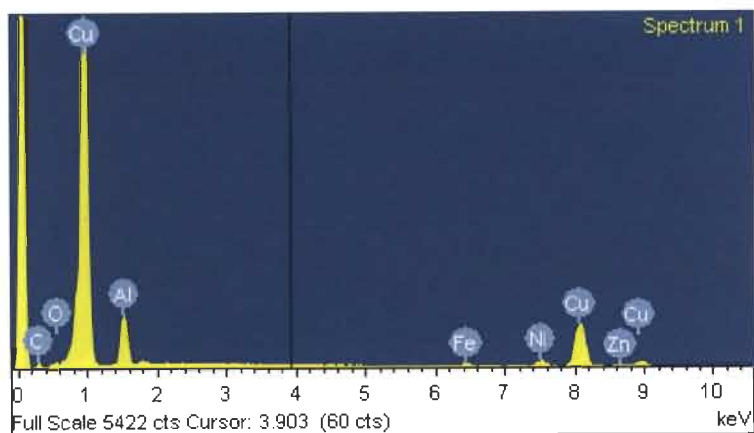
C	11.68
O	0.00
Al	5.47
Si	0.76
Fe	1.17
Ni	5.65
Cu	68.18
Zn	7.84
TOTAL	100.00



Observaciones: decremento de aluminio en la zac ya que la fase k ocupa la restante cantidad. Y presencia de zinc en la zona clara procedente del metal base

C.D. 125 AMP SMAW

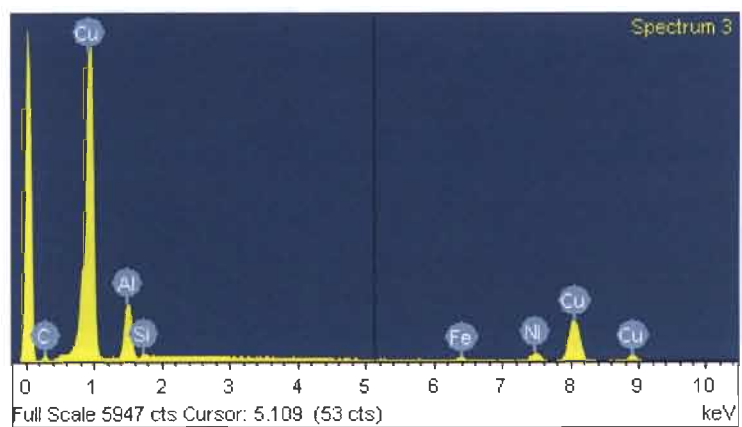
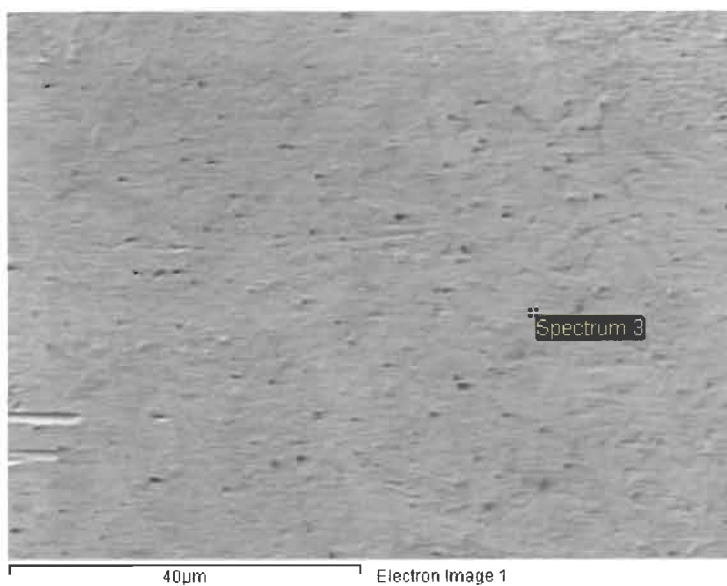
C	4.46
O	0.48
Al	7.57
Si	0.00
Fe	1.36
Ni	6.17
Cu	74.25
Zn	5.71
TOTAL	100.00



Observaciones: presencia de zinc en la soldadura en una cantidad importante.

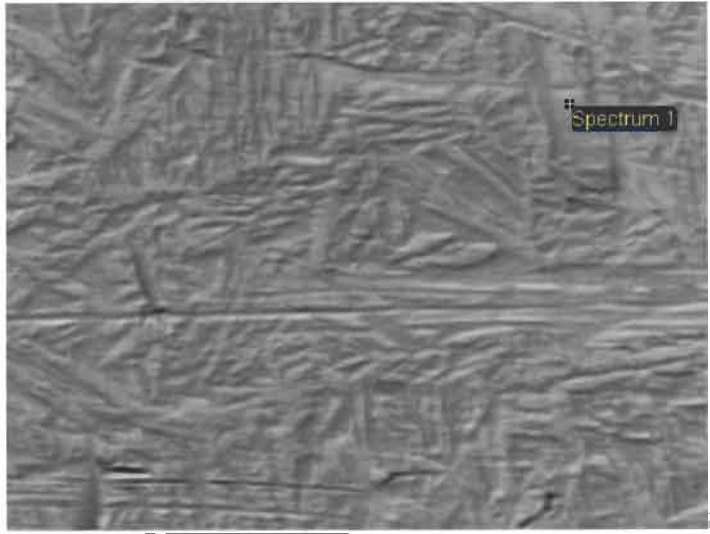
C.A. 135 AMP GTAW

C	4.66
O	0.00
Al	8.79
Si	0.33
Fe	1.32
Ni	9.06
Cu	75.83
Zn	0.00
TOTAL	100.00

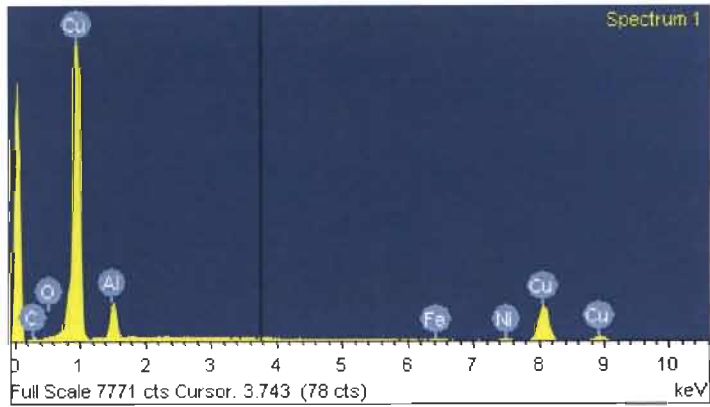


C.A. 150 AMP GTAW

C	3.87
O	0.53
Al	7.67
Si	0.00
Fe	0.95
Ni	2.32
Cu	84.65
Zn	0.00
TOTAL	100.00



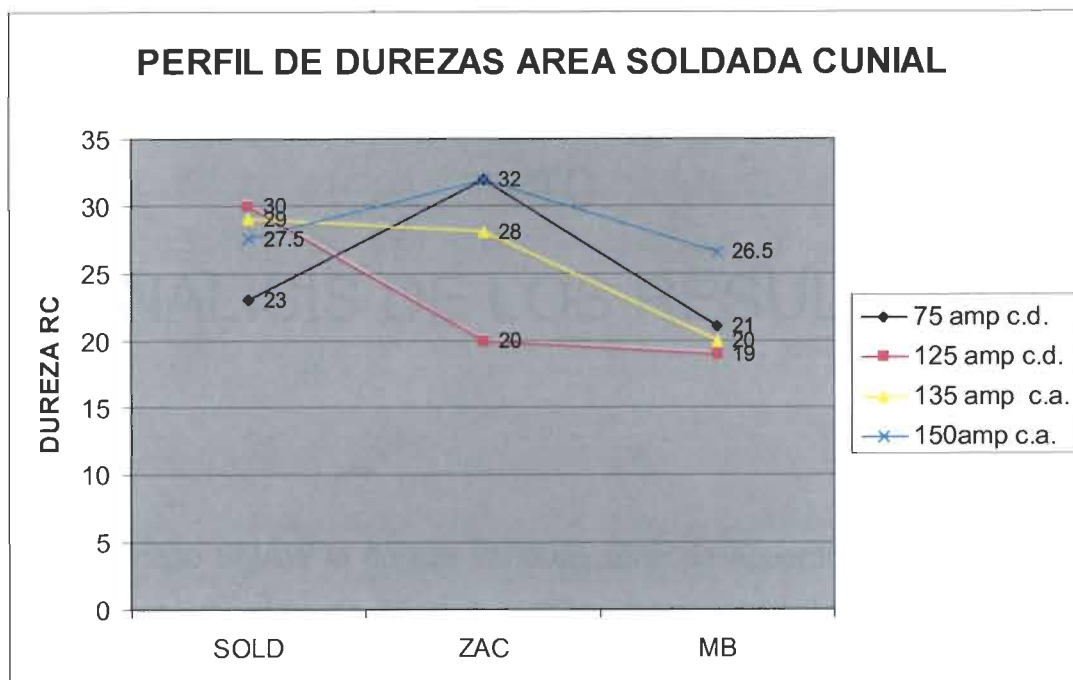
50µm Electron Image 1



9.2.2. Ensayo de dureza

Se realiza un ensayo de micro dureza para comparar los resultados obtenidos en cada experimento de acuerdo a la especificación ASTM E 384

Muestra	Posición	Dureza HRC	Dureza HV
75 amp	Sold	23 C	255.41
	Int	36 C	351.28
		28 C	285.00
	MB	97 B	220.00
135 amp	Sold	23 C	252.00
		31 C	306.00
	Int	27 C	278.00
		28 C	284.00
	MB	21 C	244.00
		95 B	208.00
125 amp	Sold	28 C	285.00
		32 C	318.00
	Int	100 B	238.76
		97 B	218.65
	MB	95 B	208.00
150 amp	Sold	93 B	199.00
		25 C	264.00
	Int	30 C	303.00
		32 C	318.00
	MB	32 C	318.00
		30 C	300.00
		23 C	252.00



La grafica 1. Muestra los promedios de la dureza obtenida en las tres zonas lo que permite comparar los resultados obtenidos en el proceso SMAW (C.D.) y el proceso GTAW (C.A.).

10.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En el proceso SMAW la dureza varia de zona de acuerdo al amperaje, vemos que con un amperaje de 75 amp el metal base y la soldadura presentan una dureza muy similar mientras que en la zona afectada por el calor la dureza es mucho mayor. Esto puede ser debido a que al ser un amperaje bajo, la temperatura generada no es muy grande por lo que la escoria hace su papel de enfriar lentamente la soldadura en cambio la zona afectada por el calor presenta un calentamiento súbito con un enfriamiento mas acelerado lo que ocasiona que presente mayor dureza.

En el mismo proceso pero a un amperaje de 125 amp la dureza va aumentando hacia la soldadura. La zona afectada por el calor presenta un comportamiento similar que en los 75 amp mientras que la soldadura presenta una dureza mayor. En este caso la variación de amperaje implica una temperatura mas elevada por lo que aunque la soldadura sea protegida el enfriamiento es más rápido que en la zona afectada por el calor.

En el proceso GTAW al utilizar 135 amp se observa que la dureza aumenta del metal base hacia la soldadura.

Mientras que al aumentar el amperaje a 150 amp observamos que la mayor dureza se encuentra en la zona afectada por el calor.

Las micro estructuras analizadas nos señalan que el comportamiento de la aleación C99350 es muy similar al de los bronce aluminicos a pesar de tener otros elementos con mayor cantidad que el aluminio (Ni y Zn).

Como indica el análisis mediante MEB se presentan una fase α y una fase k que se da a partir de la descomposición de la fase β .

En la matriz de cobre se encuentran porcentajes menores a 5% de aluminio como indica la bibliografía⁽³⁾ ya que a partir de un contenido en la aleación por arriba de 9% se forma una segunda fase β la cual no se aprecia ya que por la presencia de níquel y fierro se descompone en $\alpha + k$. El zinc por tener una afinidad con el cobre se encuentra principalmente disuelto en la matriz.

11.

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

A través de los experimentos realizados se comprobó que es posible realizar soldaduras en bronce C99350 con aporte de bronce que brinde una dureza similar al metal base ó menor a la que brinda el aporte de níquel.

Al igual que en la aleación de bronce aluminico (CuAl10Ni5) que es muy parecida a nuestra aleación pudimos observar que hay una transformación martensítica en el área soldada que se da al llegar alrededor de los 900°C y un enfriamiento al aire.

En este caso al utilizar los 2 procesos de soldadura se dio una transformación martensítica la cual arroja una alta dureza de alrededor de 30 HRC la cual es indicada para piezas que cuentan con zonas de mucho desgaste.

Para futuras investigaciones en el caso de reparaciones que necesiten una dureza igual al metal base es recomendable aplicar un precalentamiento a la pieza o un tratamiento térmico de revenido para disminuir la dureza en la ZAC y la soldadura en donde aparece la fase martensítica una vez soldada.

También es recomendable realizar un experimento con soldadura SMAW variando el amperaje entre 75 amp y 125 amp para ver el comportamiento de la

dureza en la ZAC y la soldadura ya que al ver los datos arrojados en los experimentos con SMAW las durezas tienen un efecto inverso.

Otra recomendación es utilizar un metal de aporte vaciado del mismo metal base para comparar los resultados en un área soldada homogénea, teniendo las debidas precauciones al momento de soldar debido al contenido de elementos dañinos en la soldadura.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. www2 ing(www2.ing.puc.cl) Pontificia Universidad Católica de Chile. El cobre y sus aleaciones
2. Copper and copper alloys. Arc welding of copper and copper alloys
Artículo revisado por L. MacDonald Schetky, director técnico de
International Copper Research Association, Inc. pp. 400-413.
3. PADILLE, Eusebio Dionicio, VEGA GUILLEN, Victor, TABUCHI
MATSUMOTO, Edgardo *et al.* Influencia de los Microaleantes en la Aleación
de los Bronces. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* [online].
jul./dic. 2003, vol.6, no.12 [citado 20 Febrero 2008], p.59-66. Disponible en
la World Wide Web:
<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882003000200008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1561-0888.
4. Key to non ferrous. 2006-2007. The Electrical Conductivity of Wrought
Copper and Copper Alloys. <http://www.key-to-nonferrous.com/>

13.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Conductividades eléctricas y térmicas relativas de los diferentes metales respecto al Cu (100%) pág. 8

Tabla 2. Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del cobre. (con acritud del 40% frente al estado recocido) pág. 13

Tabla 3. Elementos de aleación que favorecen el endurecimiento por deformación pág. 27

Tabla 4. Tratamientos térmicos en cobres aluminicos pág. 30

Tabla 5. Síntesis de propiedades mecánicas de aleaciones cuproníquel pág. 33

Tabla 6. Resultados del experimento de micro dureza pág. 43

14.

LISTADO DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 1. Resiliencia del cobre puro en función de la acritud para las calidades: HC tenaz, desoxidado y OFHC. Pág. 12

Figura 2. Evolución de las características mecánicas, R y A, en función de la temperatura para el cobre HC tenaz con 35% acritud. Pág. 13

Figura 3. Temperatura de recristalización del cobre en función de los elementos de aleación y la cantidad de adición.pag 14

Figura 4. Influencia de las adiciones sobre la conductividad del cobre recocido. Pág. 17

Figura 5. Diagrama de fases Cobre Zinc. Pág. 23

Figura 6. Microestructuras obtenidas en CuAl. El tratamiento térmico más corriente para la aleación CuAl₁₀ consiste en temple desde 900°C, que resulta en una estructura completamente martensítica \square ', y luego revenido a temperaturas entre 400°C y 650°C. Pág. 29

Figura. 7 la variación de las propiedades mecánicas de aleaciones de cuproaluminios en función de variaciones en el % de Aluminio

Figura 8. Diagrama de fases cobre níquel pág. 32

Figura 9. Metalografías de metal base tomadas a magnificaciones de 100x, 200x, 500x, 1000x en el sentido de las manecillas del reloj. Pág. 39

Figura 10. Metalografías de soldadura tomadas en magnificaciones de 100X, 200X, 500X, 1000X en el sentido de las manecillas del reloj. pág. 39

Figura 11. Metalografías de la soldadura a 100x y 500x pág. 40

Figura 12. Interfase tomada a magnificaciones de 100X, 200X, 500X, 1000X en el sentido de las manecillas del reloj. Pág. 40

Grafica 1. Muestra los promedios de la dureza obtenida en las tres zonas lo que permite comparar los resultados obtenidos en el proceso SMAW (C.D.) y el proceso GTAW (C.A.). pág. 43

15. AUTO BIOGRAFIA

Ing. Enrique López Villareal
Saltillo, Coahuila. 06 Julio 1983

Mis padres son Enrique López Zapata y Patricia Virginia Villarreal Márquez. Soy aspirante al Grado de Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial, presentando el proyecto "Efecto de las variables en los procesos GTAW y SMAW sobre la dureza en la reparación de molde de aleación CuNiAl". Realicé mis estudios en el Instituto Tecnológico de Saltillo donde obtuve el grado de Ingeniero Industrial. Actualmente me encuentro laborando en Fundición y Acabados de Precisión, desempeñándome como Supervisor de Producción.

16. GLOSARIO

HRC: unidad de medida para la dureza Rockwell C

GTAW: soldadura de arco gas-tungsteno (TIG)

SMAW: soldadura de arco de electrodo revestido

Alotrópico: es la propiedad que poseen determinados elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes.

IACS: International Annealed Cooper Standard, Estándar Internacional de Cobre no Aleado

R: carga de rotura

E: limite elástico

A: alargamiento

Fatiga: disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos.

Recocido: es el tratamiento térmico que, en general, tiene como finalidad principal el ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. Implica un calentamiento hasta una temperatura que permita

obtener plenamente la fase estable a alta temperatura seguido de un enfriamiento lo suficientemente lento como para que se desarrollen todas las reacciones completas.

Resiliencia: cantidad de energía por unidad de volumen que puede absorber un material, antes de que comience la deformación irreversible, esto es, la deformación plástica. Se corresponde con el área bajo la curva de un ensayo de tracción entre la deformación nula y la deformación correspondiente al esfuerzo de fluencia. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en julios por metro cúbico.

Acritud: Estado en que se encuentra un cuerpo metálico que ha perdido su ductilidad y maleabilidad. Cuando en un proceso de conformado de metales ocurre el trabajo de deformación plástica, el material sufre la compactación del tamaño de su grano y producto de este cambio de su estado de tensión se produce un endurecimiento por deformación que se conoce como acritud

Recristalización: Si un metal previamente deformado en frío, es recocido a una temperatura suficientemente alta, (temperatura de recristalización), aparecen nuevos cristales en la microestructura, los que tienen idéntica composición y estructura reticular que los antiguos granos no deformados. Estos nuevos cristales surgen en zonas con alta densidad de dislocaciones.

Tenaz: Es la capacidad que tienen los metales de absorber energía antes de romperse. Pero la energía es igual al producto de la fuerza aplicada por su deformación (espacio), por lo que no hay que confundir tenacidad con gran resistencia a la rotura. Así pues, el diamante tiene gran resistencia a la rotura, pero es poco tenaz.

En resumen, un metal es más tenaz cuanto más separados estén su límite elástico y su resistencia a la rotura y cuanto mayor sea esta última.

17. ANEXO

Para cobre y sus aleaciones

Electrodo y varilla de aporte para cobre y sus aleaciones

BRNSOMATIC A / E CuAl-A2 / Electrodo revestido

Código	Diámetro		Longitud
	Pulgadas	Milímetros	
6275	1/8"	3.2	14"
6285	5/32"	4	14"

Nombre comercial:

BRNSOMATIC A

Clasificación AWS: E CuAl-A2

Electrodo revestido

Características: Electrodo de Bronce aluminico. Deja cordones finos con arco corto, facilidad de liga con hierros colados y aceros. Utilizar C.D. P.I.

Usos y aplicaciones: Para unir y revestir bronce similares en alambiques, evaporadores, intercambiadores de calor, chumaceras y engranajes. En la industria alcohó-lera, perfumería, fábricas de explosivos, azucarera, cervecera y laboratorios farmacéuticos.

Presentación: Bote de plástico con bolsa de 5Kg.

Technical Data Sheet

AMPCO-TRODE® 10

Description and Application

AMPCO-TRODE 10 aluminum bronze is the most versatile welding electrode in this family of alloys. It is intended for deposition with electric arc welding processes.

AMPCO-TRODE 10 will weld and join many ferrous and nonferrous metals and combinations of dissimilar metals. These metals include the more weldable grades of cast iron, high and low carbon steels, copper, bronzes and copper-nickel alloys. Applications for AMPCO-TRODE 10 include: building up bearing surfaces, joining and fabricating copper alloys, overlaying for resistance to corrosion and erosion and general maintenance and repair welding.

AMPCO-TRODE 10 Coated

Limiting Chemical Composition,

% (deposited weld metal)

Copper*	balance
Aluminum	6.50-9.0
Iron	0.50-5.0
Silicon	1.5 max.
Others	0.50 max.

* including silver

Mechanical Properties

(nominal all-weld metal values)

Tensile Strength, ksi	77 (531 MPa)
Yield Strength, ksi	35 (241 MPa)
Elongation, % in 2" (51 mm)	27
Reduction of Area, %	27
BHN (3000 kg.)	
1/4" (6.4 mm) deposit	119

Specifications

AWS A5.6 Class E CuAl-A2

ASME SFA 5.6 Class E CuAl-A2

Typical Applications

cast iron malleable iron
 cast iron to steel cast iron to bronze
 steel to bronze aluminum bronze
 silicon bronze manganese bronze
 cupro-nickel tool steel
 copper to steel bearings
 bushings pump housings
 condenser boxes hydraulic pistons

brake drums tractor gear housings
 idler pulleys pickling hooks
 paper mill rolls motor bases
 tin plate mill rolls impellers
 valve seats gears

mixer arms press rams
 ship propellers lance heads

AMPCO-TRODE 10 Bare

Limiting Chemical Composition,

% (filler metal)

Copper*	balance
Aluminum	8.50-11.0
Iron	0.50-1.50
Silicon	0.10 max.
Others	0.50 max.

* including silver

Mechanical Properties

(nominal all-weld metal values)

Tensile Strength, ksi	79 (545 MPa)
Yield Strength, ksi	35 (241 MPa)
Elongation, % in 2" (51 mm)	28
Reduction of Area, %	28
BHN (3000 kg.)	
1/4" (6.4 mm) deposit	140

Specifications

AWS A5.7 Class ER CuAl-A2

ASME SFA 5.7 Class ER CuAl-A2

MIL-E-23765/3A Type

MIL-CuAl-A2