

CONDICIONES DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BRONCE EXCA PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES PARA LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

JOSÉ DANIEL RIVERA MUÑOZ

**Informe de trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero de Materiales**

Asesor

Ricardo Emilio Aristizábal Sierra, PhD (UdeA)



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA DE MATERIALES
MEDELLÍN
2019**



TABLA DE CONTENIDO
Pág.

RESUMEN.....	5
1 INTRODUCCIÓN.....	6
2 OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo general.....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3 MARCO TEORICO.....	7
3.1 El cobre y sus aleaciones.....	7
3.2 El bronce.....	10
3.3 Bronces al aluminio.....	11
3.4 Microestructura de los bronce al aluminio CUA10Fe5Ni5.....	13
3.5 Diagrama de fase Cu-Al.....	15
4. BRONCE AL ALUMINIO BS1400 AB2.....	16
5. BRONCE EXCA.....	18
6. PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA CONTINUA.....	19
6.1 Desgasificación.....	20
6.2 Fundentes.....	21
6.3 Temperatura de vaciado.....	22
6.4 Colada continua.....	22
7 MOLDES EMPLEADOS EN LA FUNDICIÓN.....	23
8 PROCESO DE MECANIZADO.....	26
9 METODOLOGIA.....	27
9.1 Revisión bibliográfica.....	27
9.2 Fundición y corte.....	27
9.3 Proceso de fusión.....	28
10 RESULTADOS Y ANALISIS.....	29

10.1 Proceso de fusión.....	29
10.2 Extracción y corte.....	29
10.3 Análisis microestructural.....	33
10.4 Ensayo de tracción.....	35
10.5 Mecanizado.....	36
11 CONCLUSIONES.....	39
12 RECOMENDACIONES.....	40
13 BIBLIOGRAFÍA.....	41
14 ANEXOS.....	44

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. Microestructura de un bronce de níquel y aluminio fundido En arena.....	14
FIGURA 2. Diagrama de fase binario Cu-Al.....	16
FIGURA 3. Colada continua horizontal.....	23
FIGURA 4. Proceso de formación de viruta.....	27
FIGURA 5. Vista frontal del lingote sin poro.....	30
FIGURA 6. Muestra de lingote para análisis de composición química y Ensayo de dureza.....	30
FIGURA 7. Micrografías representativas del bronce EXCA sin recocer a diferentes aumentos atacado con nitrato férrico al 10%.....	33
FIGURA 8. Curva de deformación aleación bronce EXCA colada 170160...35	
FIGURA 9. Curva de deformación aleación bronce EXCA colada 170161...36	
FIGURA 10. Viruta aleación bronce EXCA.....	37
FIGURA 11. Viruta aleación bronce BXX.....	37

LISTADO DE TABALAS

TABLA 1. Clasificación genérica de las aleaciones base cobre trabajables .9	
---	--

TABLA 2. Microestructura de los bronce al aluminio de aleaciones CuAl10Fe5Ni5.....	13
TABLA 3. Propiedades mecánicas aleación BS1400 AB2.....	17
TABLA 4. Propiedades físicas aleación BS1400 AB2.....	17
TABLA 5. Composición química aleación BS1400 AB2.....	17
TABLA 6. Composición química aleación CuAl10Fe5Ni5.....	18
TABLA 7. Estándar de carga aleación bronce EXCA.....	27
TABLA 8. Parámetros empleados en el mecanizado del bronce EXCA y Bronce BXX.....	29
TABLA 9. Composición química aleación bronce EXCA.....	30
TABLA 10. Parámetros de operación horno de sostenimiento.....	31
TABLA 11. Resultado de dureza de los lingotes de bronce EXCA.....	32
TABLA 12. Propiedades de la aleación CuAl10Fe5Ni5.....	32

RESUMEN

Con el desarrollo del presente trabajo se buscó la obtención de unas condiciones para un proceso que permitan la fabricación de la aleación bronce EXCA, cumpliendo con los estándares de calidad en cuanto a composición química, así como propiedades mecánicas, aptos para la fabricación de moldes (coronas, tapas, fondos), utilizados en la industria del vidrio, con el fin de reemplazar los moldes tradicionales fabricados en fundición de hierro.

Se realizó el proceso de fusión en un horno de inducción y posterior vaciado a un horno de sostenimiento de colada continua; en este proceso se obtuvieron lingotes de los cuales se realizaron cortes para análisis de composición química con el fin de garantizar la composición deseada.

Se determinaron los parámetros óptimos de operación del horno de colada continua como son el amperaje, el voltaje, la velocidad de avance y el tiempo de espera del lingote, que permitieron la obtención del producto cumpliendo los estándares de calidad

A las muestras obtenidas se les realizó una medición de dureza, al igual que análisis microestructural. También se extrajeron muestras para hacer ensayos de mecanizado, obteniendo resultados satisfactorios dado que se logró una alta maquinabilidad.

Se realizó un análisis de conductividad eléctrica al igual que ensayos de tracción, que permitieron determinar la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación de la aleación bronce EXCA desarrollada.

Con la obtención y caracterización de la aleación bronce EXCA desarrollada, se puede garantizar la fabricación de moldes para la industria del vidrio, cumpliendo con los estándares de calidad que exige como cero porosidad, resistencia al desgaste, moldes con geometrías más complejas, resistencia a la tracción, dureza y resistencia a la corrosión.

CONDICIONES DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BRONCE EXCA PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES PARA LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de moldes para la industria del vidrio es considerada una actividad económica de suma importancia, dado que provee una amplia gama de productos que satisfacen el sector industrial, entre los cuales se encuentra la fabricación de moldes para el envasado de la industria cervecera. Los materiales con los cuales se fabrican los moldes deben cumplir estándares de calidad como buena resistencia a la corrosión, excelente maquinabilidad, alta conductividad térmica, cero porosidad, y excelente resistencia al desgaste.

Tradicionalmente los moldes para la fabricación de vidrio se utiliza hierro fundido mediante una aleación específica, alta en grafito que permite el fácil desmoldeo, que presente buena resistencia al desgaste y buena conductividad térmica; sin embargo cuando el molde queda al aire libre, la superficie externa se cubre de óxido hidratado de hierro de coloración rojo pardo, que penetra lentamente en el interior del material y va generando agrietamiento en la pieza, disminuyendo sus propiedades mecánicas y su vida útil. Para la fabricación de moldes más complejos se requiere de materiales que permitan una mejor fluidez del vidrio fundido al igual que una buena maquinabilidad y acabado.

De allí nace la necesidad de desarrollar un material con mejores prestaciones como el bronce EXCA que brinda el cumplimiento de los estándares de calidad que exige la industria del vidrio en la fabricación de moldes, con propiedades como una excelente conductividad térmica y eléctrica por ser una aleación base cobre, alta resistencia a la corrosión proporcionada por el níquel, buena resistencia a la tracción debido a la presencia de aluminio, la posibilidad de excelentes acabados y alta tenacidad debido al efecto refinador del hierro, además de facilidades de fusión y moldeo debido al aumento de la fluidez proporcionado por el manganeso.

En el presente trabajo se encuentra reflejado el estudio y desarrollo de la aleación bronce EXCA, donde se evaluó su composición química por medio de un espectrómetro de emisión óptica, además del ensayo de dureza Brinell, conductividad térmica, ensayo de tracción y mecanizado, al igual que las condiciones óptimas de operación del horno de sostenimiento el cual genere un producto óptimo que cumpla con los altos estándares de

calidad en cuanto a la resistencia a la corrosión , cero porosidad, excelente conductividad térmica, fácil mecanizado y que garantice la fabricación y producción de moldes para la industria del vidrio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Establecer las condiciones para el proceso de la producción de bronce EXCA para la fabricación de moldes para la industria del vidrio.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar las variables de proceso de fusión, tales como la temperatura de fusión y vaciado, el voltaje, amperaje y tiempo de avance y espera empleado en el horno de sostenimiento en la extracción del lingote para la producción de la aleación EXCA.
2. Determinar el desgasificante, fundente y desoxidante apropiados para la obtención de la aleación.
3. Caracterizar las propiedades microestructurales, químicas, de conductividad térmica y resistencia a la tracción de la aleación bronce EXCA

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El cobre y sus aleaciones

El cobre puro tiene la mejor conductividad eléctrica y térmica de cualquier metal comercial. En la actualidad más de la mitad del cobre producido se utiliza en aplicaciones eléctricas y electrónicas, y el cobre forma aleaciones con mayor facilidad que la mayoría de los metales [1].

Hay más de 400 aleaciones de cobre, cada una con una combinación única de propiedades para adaptarse a muchas aplicaciones, procesos de fabricación y entornos. Las aleaciones se crean al hacer un material sólido a partir de dos o más metales diferentes [1].

A pesar de las excelentes propiedades del cobre, en aquellas aplicaciones en las que se requiere gran resistencia mecánica, buena maquinabilidad, gran resistencia a altas temperaturas y resistencia al desgaste, es necesario

recurrir al empleo de aleaciones o combinaciones de cobre con otros metales como zinc, aluminio, estaño, níquel y hierro [2].

El latón es una aleación de cobre y zinc, que mantiene la buena resistencia a la corrosión y deformabilidad del cobre, pero con un aumento considerable de la resistencia a la tracción debido al contenido de zinc [3]; las propiedades mecánicas dependen principalmente del contenido de zinc, pero estas pueden modificarse con otros elementos como el plomo, estaño, manganeso, aluminio, hierro, silicio, níquel, arsénico, con el fin de mejorar ciertas propiedades como es la resistencia a la tracción, la maquinabilidad o la resistencia a la corrosión [4].

La estructura cristalina del cobre es cúbica centrada en las caras (fcc) y la del zinc es hexagonal compacta (hcp), en consecuencia, la solubilidad del zinc en el cobre no puede ser completa. Pero la diferencia de tamaño de ambos átomos es sólo del 4%, permitiendo así una gran solubilidad. La diferencia de tamaño entre los átomos de cobre y los átomos de soluto predicen la resistencia a la tracción de la solución sólida. Cuanto mayor es la diferencia de tamaño, mayor es la resistencia a la tracción, pero esto también limita la solubilidad. Los solutos con la mejor combinación entre diferencia de tamaño y solubilidad, tienen mejor resistencia a la tracción. Una de las mejores combinaciones que presenta el cobre es con el zinc [3].

Los latones comerciales contienen aproximadamente entre un 5% y 50% de zinc. Por debajo del 35% de zinc, el zinc se disuelve en el cobre formando una solución sólida sustitucional de composición uniforme, estructura monofásica denominada fase alfa. Al aumentar el contenido de zinc es estable una nueva solución sólida más rica en zinc, denominada fase beta. Entre el 35% y 45% de zinc coexisten las dos fases, α y β , son los denominados latones dúplex o alfa-beta [4].

Las aleaciones de cobre y níquel tienen una excelente resistencia a la corrosión marina y al bioencrustamiento. La adición de níquel al cobre mejora la resistencia a la corrosión sin cambiar su ductilidad [1].

[1] <https://www.procobre.org/es/el-cobre/aleaciones/>
(Consultado el 2/11/2018)

[2] Renno Gómez, Mario y Filho Bresciani, Ettore. Propiedades e usos de metais nao ferrosos. Edicao Revista ABM (Associacao Brasileira de metais). 1981

[3] ASM international, copper and Copper Alloys. J. R. Davis: 2001.

[4] COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION (CDA), The Brasses properties and applications. Inglaterra, 2005.

La forma más común de clasificar a las aleaciones de cobre es dividirla en 6 familias:

- a) Cobre
- b) Cobre diluido
- c) Latones
- d) Bronces
- e) Cu-Ni (cuproníqueles)
- f) Cu-Ni-Zn (alpaca, o plata alemana)

La primera familia de aleaciones (a) cobre, es básicamente cobre comercialmente puro, el cual es blando y dúctil. Su contenido de impurezas siempre es menor a 0,7%.

La segunda familia (b) cobre diluido, contiene pequeñas cantidades de aleantes (Be, Cd, Cr, Fe) y cada uno de estos muestra una solubilidad en estado sólido menor al 1% p/p. Estos elementos modifican una o varias propiedades básicas.

Las siguientes familias (latones, bronce, cuproníqueles, aleaciones Cu-Ni-Zn), contienen uno de los cinco elementos siguientes Zn, Sn, Al, Si y Ni, como aleante primario. Se clasifican como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación genérica de las aleaciones base cobre trabajables [5].

Nombre genérico	Numero UNS	Composición
Cobre	C10100-C15760	>99% Cu
Cobre diluido	C16200-C19600	>96% Cu
Bronces	C20500-C28580	Cu-Zn
Bronces al Pb	C31200-C38900	Cu-Zn-Pb
Bronces al Sn	C40400-C49080	Cu-Zn-Pb-Sn
Bronces al P	C50100-C52400	Cu-Sn-P
Bronces al P y Sn	C53200-C54800	Cu-Sn-Pb-P
Cu-P y aleaciones de Cu-Ag-P	C55180-55284	Cu-P-Ag
Bronces al Al	C60600-64400	Cu-Al-Ni-Fe-Si-Sn
Bronces al Si	C64700-C66100	Cu-Si-Sn
Otras aleaciones Cu-Zn	C66400-C69900	-----
Cu-Ni	C70000-C79900	Cu-Ni-Fe
Ni-Ag	C73200-C79900	Cu-Ni-Zn

Los elementos aleantes más compatibles con el cobre son aquellos que forman campos de solución sólida. Estos campos incluyen a todos los elementos que conforman familias de aleaciones de la Tabla 1, más el manganeso. El endurecimiento en estos sistemas de aleaciones es más que

suficiente como para poder fabricar por conformado diversas piezas sin tener la preocupación de la fragilidad asociada a segundas fases o compuestos. El latón de cartuchería es un ejemplo típico de este grupo de aleaciones [5].

Las aleaciones de cobre que endurecen por solución sólida tienen una notable resistencia mecánica y conformabilidad. Debido a que son unifásicas y no se transforman durante los calentamientos o enfriamientos que ocurren en los tratamientos térmicos, estas aleaciones desarrollan su máxima resistencia mecánica a través de procesos de trabajado en frío (tales como laminado o estirado). Se debe observar que la conformabilidad se reduce en proporción a la cantidad de trabajado en frío aplicada [5].

En las últimas décadas, se han desarrollado ciertas modificaciones para algunas soluciones sólidas. Estas modificaciones se logran agregando aleantes que reaccionen formando intermetálicos dispersos en la matriz. Estas dispersiones tienen el efecto de refinar la microestructura y provocar endurecimiento. Como resultado se logra un aumento de la resistencia mecánica con una menor aplicación de trabajado en frío. Por ejemplo, observando las propiedades de la aleación C63800 (95Cu-2.8Al-1.8Si-0.4Co) se ven altos valores de resistencia de R_t (recocido)=570MPa y valores nominales de 660-900MPa en materiales en condición de laminado. En esta aleación, el Co es el elemento que genera las partículas intermetálicas, las que finalmente provocan el endurecimiento. [5]

3.2. El bronce

Los bronce son aleaciones de cobre en las que el principal elemento de aleación no es zinc, ni níquel. Aunque hay excepciones, bronce son generalmente clasificados por su elemento de aleación en mayor cantidad.

Bronces al estaño (Sn-Cu-P) (C50100 a C52480), también se los conoce como bronce al fósforo, tienen excelentes cualidades elásticas, alta resistencia a la fatiga, excelente conformabilidad y soldabilidad, y alta resistencia a la corrosión. Se producen principalmente en forma de flejes para fabricar productos eléctricos. Otros usos incluyen fuelles resistentes a la corrosión, diafragmas y aros elásticos.

Bronces al aluminio (Cu-Al) (C60800 a C64210). Son aleaciones conocidas por su combinación de alta resistencia y excelente resistencia a la corrosión. Su resistencia a la fatiga por corrosión bajo tensión superior a la de los aceros inoxidable austeníticos. Son fácilmente soldables y mecanizables aunque es esencial una buena lubricación y refrigeración para obtener la superficie bien terminada. Los bronce de aluminio que contiene menos del 9,5% de Al se endurecen a través de una combinación de endurecimiento por solución

sólida, trabajo en frío y precipitación de una fase rica en hierro. La resistencia a la tracción oscila entre 480 y 690 MPa, dependiendo de la composición. [5] Las aleaciones de aluminio con mayor contenido de Al (del 9 al 11% de Al), como C63000 y C63020, pueden ser templadas y revenidas igual que los aceros para producir resistencia a la tracción superiores a los 1000 MPa. Los bronce de aluminio tienen una muy amplia gama de aplicaciones. Los usos más comunes incluyen equipamientos marinos, ejes y componentes de bombas y de válvulas de manejo de agua de mar, aguas ácidas de minas, fluidos de proceso proveniente de ácidos no oxidantes e industriales. La buena resistencia al desgaste de los bronce de aluminio los convierte en una excelente opción para cojinetes de alta resistencia y herramientas. Debido a que el aluminio reduce la densidad y también aumenta la resistencia, estos bronce tienen relativamente altas relaciones resistencia-peso. Esto explica por qué el bronce de níquel-aluminio (C63020) a veces sustituye a las aleaciones de Cu-Be en los cojinetes del tren de aterrizaje de aviones. [5]

3.3. Bronces al aluminio

Estas aleaciones presentan una gran resistencia a la tracción. Los bronce de aluminio son más indicados que los bronce fosforados para aplicaciones donde haya carga de choque, siempre que las velocidades superficiales sean bajas. Las aleaciones de cobre son muy usadas para tornillos sin fin, siendo el PB2 el material preferido. Para engranajes de aplicaciones generales ligeras, pueden emplearse bronce industriales al plomo, latón colado en coquilla o bronce al aluminio [6].

[5]ASM Handbook volume 2, Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 10 edition 1991.

[6]Leonardo Valdez Chávez, Instituto Politécnico Nacional de México, Metalurgia Aplicada En La Obtención De Un Bronce Complejo Al Aluminio, 2006

Los Bronce al Aluminio en la mayoría de las ocasiones es necesario agregarles microaleantes para mejorar su propiedades mecánicas y debido a esto se han realizado diversos estudios para facilitar la selección del aleante para mejorar la propiedad deseada, uno de estos estudios es el de (VEGA CALVO, Carolina, et al.) publicado en el año 2009 y titulado "Mejoramiento de la aleación de bronce al aluminio" cuyos resultados presentan una alta contracción por solidificación y por enfriamiento, así como abundante escoria y oxidación del aluminio dando lugar a la alúmina, generando porosidad; para evitar esto se debe moldear en coquilla metálica ya que permite que estos problemas se ausenten, debido a que con el molde de arena existen altos niveles de humedad, dando lugar a la porosidad. En la aleación bronce al aluminio o cuproaluminio si se aumenta los contenidos de hierro y aluminio, la aleación incrementa la resistencia a la tracción y la disminución de la elongación y da como resultado que la dureza aumenta, si en el tratamiento térmico se aumenta la temperatura y se realiza un temple por un largo tiempo [7].

El bronce al aluminio es una aleación entre el cobre y aluminio en la cual el aluminio predomina como aleante principal, la aleación cobre-aluminio también puede contener otros aleantes como lo son el hierro, el níquel, y el manganeso, pero en porcentajes bajos. Las aleaciones de bronce al aluminio son las más ligeras del cobre con una densidad de $7,4 \text{ g/cm}^3$ aproximadamente [8].

La variación de la microestructura con la composición de los bronce al aluminio, como consecuencia de la descomposición de la fase beta (β) a alta temperatura produce la fase Kappa (K), cuya forma y composición varía con los contenidos de Fe y Ni. Su tecnología de moldeo y fusión es muy diferente a la utilizada para los bronce comunes al estaño; su contracción volumétrica, similar a la de los aceros, provoca la aparición de rechupes en las piezas que se moldean y funden sin dificultad en bronce comunes, además hay que diseñar los sistemas de moldeo, alimentación y colada con trampas o filtros que impida la inclusión de partículas de alúmina, producto de la fácil oxidación del aluminio y que de existir disminuyen la resistencia mecánica. El proceso de fusión debe ser muy cuidadoso, más de lo habitual, por la tendencia de los bronce al aluminio a absorber hidrogeno y dar como consecuencia porosidad debida al gas [9].

[7] Vega Calvo, Carolina, et al. Mejoramiento de la Aleación de Bronce al Aluminio (2009).

[8] HERENGUEL, Jean. Metalurgia especial. Urmo. 1971. p. 100-105. ISBN 9788431400941. (s.f.).

3.4. Microestructura de los bronce al aluminio CuAl10Fe5Ni5

La microestructura de varias fases de las aleaciones tipo CuAl10Fe5Ni5 se lista en la Tabla 2.

Tabla 2: Microestructura de los bronce al aluminio de aleaciones tipo CuAl10Fe5Ni5 [10]

Fase	Temperatura (°C) a la cual aparece	MORFOLOGIA		
		Apariencia al microscopio	Tamaño partícula (µm)	Estructura cristalina
A	1010 °C	Granos claros al ataque	—	FCC-solución sólida
B'	<840°C aprox	Apariencia de agujas negras al ataque similar a la martensita del acero	—	Solución sobresaturada con estructura de red distorsionada
γ2 (gamma 2)	<600°C	Forma eutectoide con α y γ a velocidad de enfriamiento muy lentas	—	Solución sólida intermedia estable de Cu ₉ Al ₄
Fases Kappa basadas en Fe₃Al (incluye algunas κ_i basadas en FeAl)				
κ _i Preprimaria			—	
κ _i preprimaria Tipo 1		Partículas globulares entre los brazos de las dendritas	—	Solución sólida desordenada
κ _i preprimaria Tipo 2		Formas dendríticas nucleadas desde los granos de Beta	—	
κ _i	920-900 (°C)	Dendritas claras al ataque como rosetas en la mitad de la fase alfa o en Beta a temperatura más altas	20-50 micras	Bcc basada en Fe ₃ Al
κ _{ii}	920-900 (°C)	Eventualmente distribuidas como rosetas en los límites de grano entre alfa y Beta	—	

Las fases K , según la morfología y las composiciones, se identifican como K_I , K_{II} , K_{III} y K_{IV} . El diagrama esquemático que muestra estas diversas fases en los bronce de aluminio níquel y una microestructura típica se muestran en las Figuras 1 a y b [9].

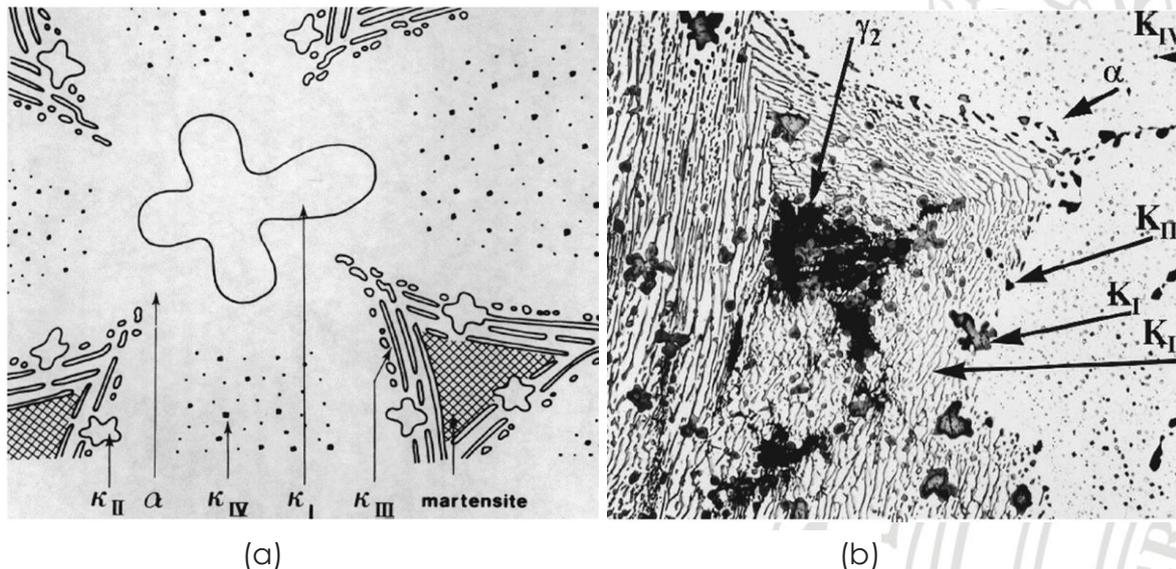


Fig. 1. Microestructura de un bronce de níquel y aluminio fundido en arena [9].

A continuación se describe el efecto de los elementos aleantes en la microestructura de la aleación bronce al aluminio $CuAl10Fe5Ni5$:

Aluminio: es el responsable de las excelentes propiedades a la tracción de la familia de bronce al aluminio. Junto con el níquel determina la línea fronteriza entre $\alpha+K$ y entre $\alpha+K+\beta$. Una aleación $\alpha+K$ tiene la mejor combinación frente a la resistencia a la corrosión, resistencia a la tracción, cedencia y elongación [10].

Hierro: refina la estructura y como consecuencia le da mayor tenacidad; aumenta los precipitados K base hierro sin detrimento de la resistencia a la corrosión. Se recomienda que el contenido de hierro sea menor al contenido de níquel [10].

Manganeso: mejora la fluidez de la aleación y las facilidades de fusión y moldeo. Permanece en solución por lo que no afecta la microestructura; estabiliza la fase Beta retardando su transición a la fase Alfa+K por lo que tiene una disminución sobre la resistencia a la corrosión. No debe exceder el 2% [10].

Níquel: aumenta la resistencia, la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Aumenta los precipitados κ base níquel lo cual mejora las propiedades mecánicas [10].

Al igual que los efectos de los elementos aleantes, la velocidad de enfriamiento en la aleación CuAl10Fe5Ni5 juega un papel importante y trae como consecuencia:

. Una rápida velocidad de enfriamiento como en molde permanente produce una estructura más fina con una mejor distribución de precipitados con mayor resistencia a la tracción, pero menor cedencia y elongación. Sin embargo se obtiene una mayor proporción de fase Beta corrosible [10].

. Con velocidades medias de enfriamiento como las alcanzadas en el moldeo en arena, se presenta una menor cantidad de fase Beta, la cual puede ser reducido o eliminado por tratamiento térmico [10].

. A velocidades de enfriamiento muy lentas como en áreas con secciones muy gruesas se forma fase corrosible gamma 2. Esta puede tener mayor segregación de impurezas o mayor disolución de hidrógeno con deterioro de las propiedades mecánicas [10].

3.5. Diagrama de fase Cu-Al

Dependiendo de la composición química entre cobre y aluminio se pueden obtener bronce al aluminio con resistencias a la tracción que presentan valores entre 31 y 68 kg/mm² y durezas Brinell entre 61 y 79 kg/mm². A lo anterior se puede sumar también, que el bronce al aluminio no produce chispas, posee alta resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, fluencia, tenacidad casi comparable a la del acero; todas las características y propiedades antes mencionadas pueden ser aún mejores en los bronce al aluminio en comparación con otros bronce y latones [11].

El diagrama de fase de equilibrio Cu-Al en la aleación de bronce al aluminio se muestra en la Figura 2. En el sistema binario de cobre y aluminio hasta aproximadamente un 9% de aluminio se encuentra una sola fase α (alfa) en la estructura metálica [12].

[9] M. Sahoo, JO Edwards y R. Thomson, "Influencia de la corrosión que inhibe el tratamiento térmico en la microestructura y las propiedades mecánicas de la aleación de bronce de níquel-aluminio C95800

[10] Meigh, Harry. Cast and Wrought Aluminum Bronzes, properties process and structure

[11] Morral, F.R.; Jimeo, E y Molera, P. Metalurgia general. Barcelona. Reverté, S.A. 1985. P.1251-1285. ISBN 842916071X. (s.f.).

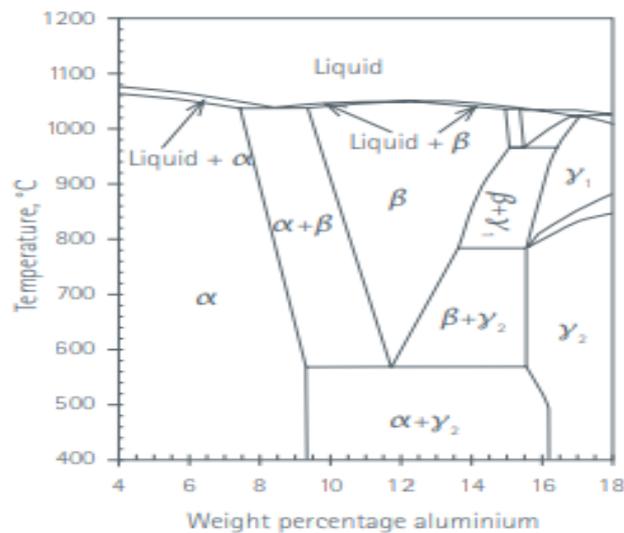


Fig. 2. Diagrama de fase binario Cu-Al. [12]

Sobre aproximadamente 8% de aluminio, aparece una segunda fase conocida como β (beta) en la estructura metálica a altas temperaturas, sin embargo en enfriamiento lento por debajo de 565 °C la fase β se vuelve inestable y se descompone en una estructura finamente dividida (eutectoide) que contiene una fase α y otra fase más fuerte, pero menos dúctil γ_2 (gamma 2), la cual puede ser atacada en agua de mar y no es deseable [12].

4. Bronce al aluminio BS1400 AB2

El clásico bronce de níquel y aluminio, es la versión fundida del bronce al aluminio CuAl10Fe5Ni5. Esta aleación tiene excelentes propiedades de resistencia al desgaste y anti-abrasión cuando se compara con aceros inoxidable y la mayoría de los otros grados de aleaciones a base níquel y hierro. También tiene una excelente resistencia a la corrosión, erosión y puede usarse para sistemas de manejo de agua de calderas; la aleación puede tolerar altas cargas, pero generalmente se restringe a partes que se mueven lentamente con buena lubricación. Mantiene el color en ambientes industriales urbanos contaminados con azufre, se puede emplear para fabricación de rodamientos y bujes de alta resistencia y dureza, utilizados principalmente para aplicaciones aeroespaciales del tren de aterrizaje [13]. Sus propiedades mecánicas, físicas y composición química se indican en las Tablas 3,4 y 5.

Tabla. 3. Propiedades mecánicas aleación BS1400 AB2 [13].

RESISTENCIA A LA TRACCION (N/mm²)	660
DUREZA BRINELL HB	150
IMPACTO IZOD J20 °C	24
ALARGAMIENTO (%)	14

Tabla.4. Propiedades físicas aleación BS1400 AB2 [13-14].

DENSIDAD (g/cm³)	7,64
RANGO DE TEMPERATURA DE FUSION °C	1050-1080
CONDUCTIVIDAD TERMICA W/m²c	35,9
RESISTIVIDAD ELECTRICA μΩ.m15 °C	0,22
COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA	16,2x10 ⁻⁶
PERMEABILIDAD MAGNETICA RELATIVA	1,6
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA 20°C (%IACS)	7,1

Tabla.5. Composición química aleación BS1400 AB2 [14].

COMPOSICION QUIMICA (% EN PESO)										Total impurezas
	Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Sn	Pb	Si	
Min	Rem	8.80	4.00	4.00						
Max	Rem	10.0	5.50	5.50	3.00	0.50	0.10	0.05	0.10	0.30

[12]Ivan Richardson, edited by Carol Powell. Guide to Nickel Aluminium Bronze for Engineers edited by Copper Development Association Publication No 222 January 2016

[13] <http://www.copperalloys.net/alloys/ab2.php>
(Consultado el 24/1/2019)

[14]<https://www.smithmetal.com/pdf/copper-brass-bronze/bronze-alloys/bs1400-ab2.pdf>

(Consultado el 24/1/2019)

5. BRONCE EXCA

La aleación bronce EXCA, es un bronce al aluminio tipo CuAl10Fe5Ni5, el cual contiene la composición química indicada en la Tabla 6. Esta aleación presenta alta resistencia a la corrosión y al agrietamiento. Este tipo de bronce de aluminio y níquel fundido altamente aleado, puede someterse a un tratamiento térmico similar a los productos forjados, dependiendo de la complejidad de la forma. Empleado para aplicaciones marinas o cuando se necesita buena resistencia a la cavitación y resistencia a la erosión, presenta excelente soldabilidad. Además, tiene una resistencia a la tracción de 95000 psi a temperatura ambiente y una elongación de 10%. Su densidad es de 7,53g/cm³, temperatura de fusión 1054.4 °C, conductividad térmica de 24.2 W/m²°C y modulo elástico de 16000 psi [15].

Entre sus usos y aplicaciones es empleado en:

- Componentes eléctricos para Hardware.
- Guías y componentes de válvulas y asientos en los motores de aeronaves, componentes para aeronaves.
- Moldes para vidrio.
- Resistentes a la corrosión de piezas.
- Rodamientos, bujes, engranajes, agitadores, bombas de fluido extremos.
- Aplicaciones en componentes expuestos a condiciones marinas [16].

Tabla 6: Composición química aleación CuAl10Fe5Ni5 [15].

	Composition %								
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Pb	Si	Sn	Zn
NOM	80	10	5	5					
MIN	Bal	8,8	3,5	4.0					
		8.5*	3,5*	4.0*					
MAX	Bal	10,5	5,5	6.0	2,5	0,05	0,1	0,2	0,5
		11,0*	4,5*	6,0*					

Las piezas de geometría compleja pueden distorsionarse durante el ciclo de calentamiento y enfriamiento y pueden estar limitadas debido al tamaño y los hornos de tratamiento térmico disponibles. El tratamiento consiste en un ciclo de enfriamiento rápido y templado que puede aumentar la resistencia a la tracción, el impacto y la dureza con una pequeña mejora en la ductilidad [16]. Las normas relacionadas con la aleación bronce EXCA son las siguientes:

- ALEACIONES BASE COBRE EN COLADAS CONTINUAS ASTM B505.

- ALEACIONES DE COBRE SAE J462.
- FEDERAL: QQ-C-390B TYPE III.

6. Proceso de fusión y colada continúa

El objetivo de la fusión es producir una aleación líquida de la composición química requerida a la temperatura de colada deseada exenta de escoria y gases. Al fabricar piezas fundidas de bronce que contienen aluminio, el fundidor se enfrenta a dificultades mayores que las que se presentan habitualmente en el resto de las aleaciones de cobre. Principalmente estas dificultades son consecuencia de características especiales como sigue:

- Dificultades tecnológicas de fusión y colada, como la fácil oxidación del aluminio dando la formación de alúmina; defectos muy perjudiciales en las propiedades mecánicas. Absorción de gases principalmente hidrógeno; segregación por gravedad, y la gran contracción que presentan al solidificar. De la maquinabilidad ya que los bronce al aluminio complejos fundidos dan lugar a un desgaste de herramientas superiores al considerado normal [17].
- Los principales problemas que son netamente metalúrgicos durante la fusión, son oxidación, gases (H_2O) y segregación por gravedad [17].

El oxígeno es soluble de una manera prácticamente irreversible en los bronce al aluminio, formándose Al_2O_3 , debido a la gran facilidad con que el aluminio formado en las condiciones del proceso de fusión no se puede someter a reducción con ninguno de los desoxidantes habituales. En estos tipos de bronce, no se puede aplicar el concepto de desoxidación; pues prácticamente, es muy difícil obtener la reducción de la alúmina formada en la fusión. Algunos especialistas señalan que por adición de determinados desoxidantes o de aleaciones especiales para desoxidar no existe una reducción de la alúmina, pero tienen la interesante propiedad de globulizar y coagular las finas partículas de óxido de aluminio dispersas en el metal fundido, provocando su ascensión a la superficie donde son atrapadas por la escoria y de esta manera se puede eliminar del metal líquido [17].

[15] http://johnson-metal.dk/fileadmin/user_upload/pdf/JM7-E.pdf
(Consultado el 28/1/2019)

[16] https://www.copper.org/applications/marine/nickel_al_bronze/pub-222-nickel-al-bronze-guide-engineers.pdf
(Consultado el 28/1/2019)

[17] Eusebio Dionicio Padilla, Víctor Vega Guillén, Edgardo Tabuchi Matsumoto, Oswaldo González Reynoso, Samuel Rosario Francia, Luis Villacorta, Nelson Dionicio Díaz. INFLUENCIA DEL MOLDE Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DEL BRONCE-ALUMINIO, 2004

La influencia de ciertos gases como el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, etc., en las propiedades físicas y mecánicas de los metales y aleaciones ha conducido a que se investigue en este campo para explicar y ordenar los fenómenos que acompañan la interacción gas-metal y que sea indispensable en la tecnología de la fundición; se debe propender por un control analítico del contenido de estos gases en los metales.

El gas puede disolverse en el metal, como ocurre con el hidrógeno, que se disuelve prácticamente en casi todos los metales industriales, o puede suceder que el gas no se disuelva. El hecho de que algunos gases no se disuelvan en un metal se aprovecha para extraer de éste los gases que pueda tener disueltos, ésta es una técnica de desgasificado [17], la cual se describe en el siguiente apartado.

6.1. Desgasificación

Diversos materiales disuelven una gran cantidad de gas cuando son líquidos, el aluminio por ejemplo, disuelve al hidrógeno. Sin embargo, cuando solidifica, el metal sólido retiene en su estructura solo una pequeña porción del hidrógeno. El hidrógeno excedente forma burbujas que pueden quedar atrapadas en el metal sólido, produciendo una porosidad gaseosa.

La porosidad puede extenderse uniformemente en toda la fundición o puede quedar atrapada entre los brazos de las dendritas. La porosidad gaseosa en las fundiciones se minimiza manteniendo baja la temperatura del líquido, añadiendo materiales al líquido (fundentes), para evitar que el metal líquido reaccione con la humedad del ambiente. [18]. Existen diversos tipos de desgasificantes y desoxidantes en los procesos de fusión entre los que se encuentran:

Nitrógeno: gas incoloro, no corrosivo y no flamable, es inerte excepto cuando es calentado a muy altas temperaturas. Como es un gas no corrosivo, no se requieren materiales especiales para su almacenamiento y control. El nitrógeno ha sido usado como desgasificante con buenos resultados, su costo es inferior al del argón, pero los tiempos de desgasificación son más prolongados y consecuentemente se reducen los niveles de producción, aumentando los costos de energía [18].

Argón: gas monoatómico, incoloro, inodoro, no corrosivo y no flamable. El argón no reacciona con ningún elemento ni compuesto, no requiere tanques de almacenamiento ni equipos de control de flujo especiales. Su eficiencia como desgasificante es muy alta y su emisión de contaminantes es nula; la remoción de hidrógeno es mayor y los tiempos de desgasificación son menores que con nitrógeno [18].

DEGAS-180: briqueta de color naranja, la cual a temperaturas por encima de los 800°C se descompone generando una gran cantidad de gas inerte insoluble en metales fundidos. Empleado para la desgasificación del baño fundido de cobre, bronce, latón, alpaca u otras aleaciones no ferrosas de base cobre [18].

Cobre Litio al 2%: el litio tiene la ventaja de poder combinarse con oxígeno e hidrógeno, el litio será más un desoxidante, empleado para eliminar orificios producidos por gases, porosidad y óxidos metálicos, al tiempo que aporta el aumento de la fluidez del baño fundido [19].

Cobre Boro al 2%: puede ser considerado como un desoxidante o refinador de grano. Generalmente, para el cobre puro su rol será el de desoxidante, aunque en los latones es más un refinador de grano [19].

Cobre Fosforo al 15%: El cobre fósforo es el desoxidante más utilizado. Elimina de forma efectiva el oxígeno del metal fundido con poca o nula reacción, ni formación de escorias. [19]

6.2. Fundentes

La selección de un fundente adecuado puede contribuir a una mayor sanidad de la pieza. Fundentes oxidantes como el óxido de cobre, mezclas de boratos y silicatos son útiles para mantener bajos niveles de hidrógeno; fundentes neutros como el vidrio o arena silícea seca, forman una barrera mecánica para evitar la exposición a fuentes de hidrógeno aunque pueden evitar la absorción de oxígeno. Fundentes reductores como el carbón de madera y el grafito, evitan la oxidación excesiva, pero pueden ser una fuente de hidrógeno si contienen humedad o aditivos con hidrocarburos, estos son útiles para retener un nivel de oxígeno bajo después de desoxidar y antes de vaciar [20].

[18] Francia Angélica Karlos Real, Abinadí Cantero De Jesús. Efecto de la adición de Cobre en la microestructura y en la dureza de la aleación de aluminio A319. Marzo 2014

[19] <https://www.belmontmetals.com>
(Consultado el 22-02-2019)

[20] Casting Copper alloys. Melt Control. AFS.

6.3 Temperatura de vaciado

Para mejorar la calidad de la fundición es necesario controlar estrictamente la temperatura de vaciado. Lo recomendado ampliamente por la literatura es emplear la menor temperatura de vaciado posible, con la cual se obtengan piezas sanas y con buenas propiedades. Usualmente el rango de vaciado óptimo debe determinarse experimentalmente. En el vaciado manual generalmente se vacían varios moldes de la misma cuchara con lo cual se tendrá una caída continua de la temperatura del metal del primero al último molde vaciado [21].

El uso de temperaturas de vaciado elevadas trae como consecuencia:

- Favorece la absorción de gases y de ahí la porosidad en la pieza final.
- Aleaciones con un amplio rango de solidificación tienden inherentemente a producir rechupe y si la temperatura de vaciado es muy alta se pueden producir macro rechupes y otros defectos internos.
- Si la desoxidación ocurre a una temperatura elevada se pueden producir problemas con la escoria.
- Con altas temperaturas de vaciado se obtiene un mayor tamaño de grano y menores propiedades mecánicas.
- Mayores temperaturas de vaciado incrementan la reactividad entre el metal y el molde, formando cantidades excesivas de gases los cuales deben evitarse en la fusión, además disminuyen la vida útil de los refractarios.
- Bajas temperaturas de vaciado pueden conducir a una pérdida parcial de solidificación direccional, produciendo rechupes internos o cavidades. Además contribuir a la oclusión de escoria o burbujas de gas debido a la rápida solidificación [21].

6.4. Colada continúa

La colada continua o semi-continua de cobre se extiende rápidamente, en especial en las plantas donde las operaciones de vaciado y fabricación posterior (por ejemplo, laminación, extrusión, trefilado de alambre) están integradas. La colada continua produce un elevado rendimiento de la mano de obra de manera que aún en las localidades remotas de los centros fabriles, este tipo de colada puede ser redituable para ciertos productos, por ejemplo, placas de laminación, lingotes de extrusión y barras pre-trefiladas [22].

El proceso de colada continua inicia con la fundición adecuada de los materiales propios de la aleación requerida, (cobre, zinc, plomo, estaño, níquel); luego de ser analizados, ajustados y nivelados a un punto de temperatura se vierte dentro del horno de sostenimiento previamente calentado que inicia la producción de la barra según se estime con una o

varias líneas. En la Figura 3 se muestra el proceso de colada continua horizontal [23].

El horno de sostenimiento es construido en acero y refractarios indicados para este trabajo, con la posibilidad de cambiarlos en su momento con facilidad por parte de los operarios después de un mínimo de 2 años para el inductor y 3 años para el cuerpo del mismo con el sinterizado adecuado y respaldo de fábrica. [23]

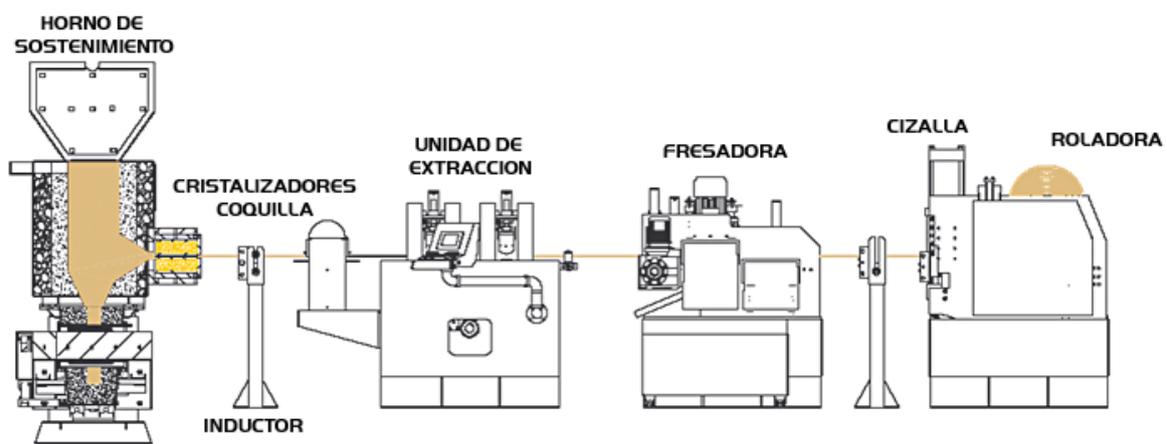


Fig.3. Colada continua horizontal. [23]

7. Moldes empleados en la fundición

Los procesos de fundición comúnmente se clasifican como fundición en molde desechable o en molde permanente. Los procesos en molde desechable más comunes son la fundición en arena, el molde en cáscara, el molde de yeso, el molde cerámico y la fundición por revestimiento. Los procesos de molde permanente comunes incluyen la fundición por inyección en matriz, la fundición a presión y la fundición centrífuga. La fundición en molde desechable por lo general involucra costos inferiores en moldes y en equipo, pero produce una menor precisión dimensional. Los moldes que se utilizan en la fundición en molde permanente son hechos de metal o de grafito, y se utilizan de manera repetida para producir un gran número de piezas.

[21] Casting Copper alloys. Pouring. AFS

[22] A.K. Biswas, W.G. Davenport. El cobre. Metalurgia extractiva

[23] <https://tecnicasaray.com/proceso-colada-continua-horizontal/>
(Consultado el 5/2/2019)

Dado que los metales son buenos conductores del calor pero no permiten la salida de los gases, los moldes permanentes tienen efectos fundamentales diferentes sobre la pieza fundida en comparación con los moldes de arena o de otros materiales en forma de agregados. En la fundición de molde permanente, los costos de los dados y matrices son relativamente elevados, pero los procesos son económicos para grandes corridas de producción. La pérdida por desperdicio es baja y la precisión dimensional es relativamente alta, con buenos detalles superficiales. [24]

El diseño de un molde de fundición está determinado principalmente por la forma que debe tener la pieza acabada. Pero existe una cierta cantidad de aspectos relacionados con el diseño y tamaño del molde que pueden tener una cierta influencia en la vida útil de éste. Los aceros de alta tenacidad son extremadamente sensibles a las pequeñas grietas. Es por tanto muy importante que el diseño de la cavidad se realice con suaves cambios de secciones y que los ángulos tengan el mayor radio posible. A fin de reducir el riesgo de erosión y de fatiga térmica en el material del molde que se encuentra próximo al punto de inyección [25].

Al fabricar un molde para fundición, los siguientes factores son de vital importancia:

- Mecanibilidad
- Tratamiento térmico
- Estabilidad dimensional
- Tratamiento de la superficie

La capacidad de mecanizado de los aceros martensíticos para trabajo en caliente se ve influenciada principalmente por la cantidad de inclusiones no metálicas, como sulfuros de manganeso y la dureza del acero. Normalmente los aceros para utillajes de trabajo en caliente son suministrados en condición de recocido blando. Una vez realizado el mecanizado del molde, éste deberá recibir tratamiento térmico para poder adoptar la máxima resistencia al límite de elasticidad, resistencia al revenido, tenacidad y ductilidad. La vida útil de un molde de fundición varía considerablemente dependiendo del tamaño y del diseño de la pieza a inyectar, del tipo de aleación y del cuidado y mantenimiento del molde. La vida útil del molde puede prolongarse mediante un tratamiento adecuado antes y durante la operación de inyección:

- Precalentamiento adecuado
- Refrigeración correcta
- Tratamiento de superficie
- Liberación de tensiones

El contacto inicial entre un molde de fundición frío y el metal fundido caliente causa un choque térmico severo en el material del molde. La fatiga térmica puede aparecer rápidamente en la primera inyectada y conducir rápidamente a la rotura total del utillaje. Durante el proceso de inyección, la superficie del utillaje está sujeta a tensiones térmicas derivada de las variaciones de temperatura; esta variación constante puede resultar en tensiones residuales generándose en algunas zonas de la superficie del molde. Estas son por naturaleza, en la mayoría de los casos tensiones de tracción, y por tanto facilitan la iniciación de grietas de fatiga térmica [25].

Los moldes de fundición están expuestos a altas temperaturas y sometidos a grandes esfuerzos mecánicos ello exige grandes requisitos para el utillaje. Existe pues una serie de fenómenos que limitan la vida útil del molde, los más importantes son los siguientes:

- Fatiga térmica
- Erosión/Corrosión
- Roturas
- Indentación

La vida útil del molde para una aleación específica puede variar considerablemente en función del diseño de la pieza inyectada, el acabado de la superficie, el ritmo de producción, el control del proceso, el diseño del utillaje, el material del molde, su tratamiento térmico y el nivel de aceptación de variación de medidas (tolerancias) y acabado de superficie [25].

Las aleaciones de fundición tienen temperaturas críticas, y por encima de estas aumentan los ataques por erosión. El zinc comienza a reaccionar con el acero a una temperatura sobre los 480°C, y el aluminio sobre los 720°C. Las aleaciones de cobre no parecen tener realmente una temperatura crítica, pero la erosión aumenta lentamente con la temperatura [25].

A temperaturas elevadas, la resistencia del acero y por tanto su dureza, se verá disminuida. Significa, por tanto, que el riesgo de indentación en un molde de trabajo en caliente aumentará con la temperatura de trabajo del molde. Tanto la presión de cierre sobre las mitades del molde y la presión del metal de inyección son tan altas, que se requiere una cierta resistencia a altas temperaturas. Ello es especialmente importante para fundición inyectada de aluminio, magnesio y cobre [25].

[24] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid. Manufactura, ingeniería y tecnología

[25] <http://www.axxecol.com>

(Consultado el 3/3/2019)

8. Proceso de mecanizado

Las variables involucradas en el proceso de mecanizado como por ejemplo los materiales de trabajo, las herramientas de corte, tipo de viruta obtenida y los parámetros tales como la profundidad de corte, el avance, la velocidad del husillo y la velocidad de corte, entre otros son de vital importancia debido a que la manufactura está en constante evolución y cada vez se busca mejorar los tiempos y minimizar los costos que están involucrados en este tipo de proceso.

La viruta se genera en el corte de una pieza por una deformación y cizallamiento del material. Hay cuatro tipos de viruta, que afectan el acabado superficial y la operación de corte, estos son:

- Virutas continuas: Usualmente se forman con materiales dúctiles y producen un buen acabado superficial, aunque el largo de éstas puede afectar el proceso de corte debido a que se puede enredar con la herramienta o pieza
- Virutas de borde acumulado: Son capas acumuladas de material que se adhieren a la herramienta y también puede adherirse a la pieza. Esto afecta el acabado superficial de la pieza.
- Virutas segmentadas o escalonadas: Son virutas semicontinuas, usualmente se ven en materiales de baja conductividad térmica como el titanio
- Virutas discontinuas: Se da en materiales con impurezas o con inclusiones, materiales frágiles, velocidades de corte muy bajas o muy altas, grandes profundidades de corte y otros factores que generan fuerzas de corte discontinuas que pueden afectar el acabado superficial de la pieza [26].

[26]S.KalpaKjian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Pearson Educación, 4^o Edición

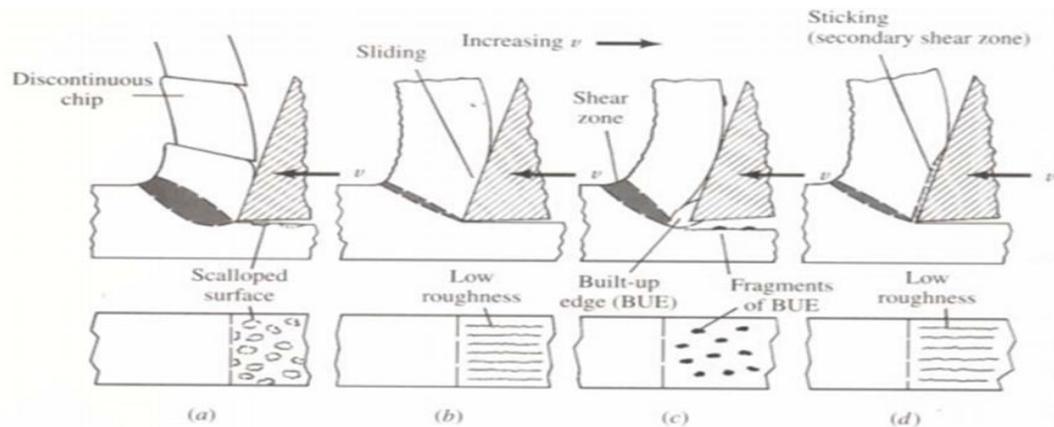


Figura 4: Proceso de formación de viruta. (a) viruta discontinua (b) viruta continua (c) viruta borde acumulado (d) viruta segmentada. [26]

9. METODOLOGÍA

9.1. Revisión Bibliográfica

Se realizó revisión bibliográfica relacionada con la aleación en cuestión, los temas asociados con su procesamiento y condiciones de fusión en buscadores de internet de trabajos investigativos realizados a nivel mundial, y bases de datos a las que tiene acceso la Universidad de Antioquia.

9.2. Fundición y Corte

En el proceso de fundición, se empleó un estándar de carga como se muestra en la Tabla 7, en el cual los materiales de carga fueron materiales limpios, libres de grasas que puedan incrementar la gasificación, material seco, puesto que esta humedad incrementa la gasificación por vapor de agua y precalentados a fin de evitar choque térmico y remover además humedad.

Tabla 7: Estándar de carga aleación bronce EXCA

%	Kg de aleación									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Fe 4.2%	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8	42
Al 10.0%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ni 5.2%	5.2	10.4	15.6	20.8	26	31.2	36.4	41.6	46.8	52
Mn 1.5%	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	9	14.7	16.8	18.9	21
Cu79.1%	79.1	158.2	237.3	316.4	395.5	474.6	553.7	632.8	711.9	791
100%	100.6%	201.2%	301.8%	402.4%	503%	600%	704.2%	804.8%	905.4%	1006%

Determinado el estándar de carga se inició con el proceso de fusión en un horno de inducción marca PACER.

9.3. Proceso de fusión

El proceso de fusión se llevó a cabo bajo la norma ASTM B505, aplicable para aleaciones base cobre en colada continua. El horno de inducción marca PACER se cargó inicialmente con cobre para formar líquido e ir agregando los elementos de mayor punto de fusión como el Mn, Fe y Ni (-en este orden). Cuando el horno fue llenado a la mitad de su capacidad y fundido los elementos de alto punto de fusión, se adicionó el aluminio; el cual no debía pasar los 1060 °C para evitar reacciones violentas de este elemento en el baño líquido. Se continuó agregando el cobre intercalado con el aluminio hasta completar la totalidad de la carga. Finalizado el proceso de fusión del material y la homogenización del baño líquido se tomó una muestra con ayuda de un sacamuestras y posterior refrentado en un torno para análisis de composición química y realizar los respectivos agregados si esta lo necesitaba.

Durante la fusión se empleó fundente CUPRIFULX con la dosificación del 1%, es decir por cada 900 kg que es la capacidad del horno se emplearon 9kg de fundente. Para el vaciado del metal fundido se empleó una temperatura entre 1160 °C y 1180 °C. El metal fue vaciado en un horno de sostenimiento de colada continua horizontal marca INDUFOR. Antes del vaciado del metal se realizó de nuevo un análisis de composición química en un espectrómetro de emisión marca QUANTRON MAGELLAN modelo QM/V/L para garantizar la composición química. Se adicionó un tubo desoxidante CS-3 por cada 100 kg de metal vaciado, una vez vaciado el metal en el horno de colada continua, se desgasificó con una pastilla de Cuprusal N8 por cada 50 kg de metal, manteniendo siempre protegido el baño líquido con carbón vegetal seco para protección contra la oxidación y conservar la temperatura.

Una vez extraído el lingote del horno de sostenimiento de colada continua, se realizó un corte de 7cm de longitud para realizar verificación de composición química, al igual que análisis de dureza Brinell según norma ASTM E10.

También se tomó y preparó una muestra para realizar análisis metalográfico en el microscopio óptico de luz invertida marca LEICA modelo DMILM, con el fin de obtener información acerca de la transformación de la microestructura en los procesos de producción y transformación de la aleación.

Las propiedades mecánicas para el ensayo de tracción se evaluaron mediante la norma ASTM E8 / E8M, la cual establece los parámetros dimensionales de las probetas. En este caso se empleó una probeta de geometría rectangular para ser sometidas al ensayo de tracción el cual arroja resultados de tensión de los materiales metálicos en cualquier forma a temperatura ambiente, específicamente los métodos de determinación de la resistencia a la fluencia, el alargamiento límite de elasticidad, resistencia a la tracción, elongación y reducción de área.

Finalmente se realizó el ensayo de mecanizado empleando los parámetros indicados en la Tabla 8, a una muestra en un torno de CNC marca Haas, con el fin de evaluar el comportamiento de la viruta. Para tener un punto de referencia del comportamiento de la viruta de la aleación en desarrollo, se mecanizó en paralelo una muestra de bronce BXX suministrada en su momento por la empresa INCOAL S.A.

Tabla 8: Parámetros empleados en el mecanizado del bronce EXCA y Bronce BXX

Condiciones de mecanizado	
Avance(mm)	0,25
Velocidad de corte (mm/min)	250
Profundidad de corte (mm)	2,5

Se empleó un inserto de torno y una broca marcas SANDVIK de referencia WNMG 08 04 08 SM 1115 y 460.1-0970-49AO-XM GC34 respectivamente.

10. RESULTADOS Y ANALISIS

10.1. Proceso de fusión

Establecido el estándar de carga, se prepararon 7 cargas de 800kg cada una identificadas como 170160-170161-170162-170163-170164-170165-170166-170167, las cuales tuvieron un estándar de 3.5 horas de fusión por colada, empleando una temperatura de vaciado entre 1160°C y 1180°C en cada vaciada dado que se lograba muy buena fluidez del baño líquido en ese rango de temperatura en el horno de sostenimiento de colada continua.

10.2. Extracción y corte

Vaciado el metal fundido en el horno de sostenimiento de colada continua, se obtuvieron lingotes de 3 metros de longitud, a los cuales se le realizó un

corte de 7 cm de longitud para análisis de composición química y ensayo de dureza, al igual que revisión visual del lingote con el fin de determinar si presentaba agrietamiento superficial y/o porosidad Figura 5 y Figura 6, y así poder determinar los parámetros óptimos de funcionamiento del horno de colada continua que garantizaran un lingote sin agrietamientos y sin porosidad asociada a gases.



Fig.5. Vista frontal del lingote sin poro



Fig.6. Muestra de lingote para análisis composición química y ensayo de dureza

Los resultados obtenidos del análisis de composición química se muestran en la Tabla 9. Los resultados muestran que la composición química de cada colada cumplió con los rangos establecidos aplicable a la normatividad ASTM B505.

Tabla.9. Composición química aleación bronce EXCA en %at

colada	Ag	Al	As	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Sb	Si	Sn	Zn
170160	0.05	9.158	0.020	79.723	4.883	0.001	1.004	5.492	0.001	0.088	0.001	0.001	0.036	0.001	0.114
170161	0.05	8.817	0.020	80.728	4.066	0.001	1.049	5.103	0.001	0.012	0.001	0.001	0.038	0.001	0.112
170162	0.05	8.779	0.020	80.858	4.026	0.001	1.051	5.052	0.001	0.010	0.001	0.001	0.037	0.001	0.112
170163	0.05	9.015	0.020	80.408	4.150	0.001	1.045	5.182	0.001	0.010	0.001	0.001	0.037	0.001	0.080
170164	0.05	9.020	0.020	80.198	4.240	0.001	1.087	5.265	0.001	0.010	0.001	0.001	0.037	0.001	0.068
170165	0.05	9.078	0.020	80.128	4.303	0.001	1.122	5.190	0.001	0.010	0.001	0.001	0.036	0.001	0.059
170166	0.05	8.877	0.020	80.263	4.233	0.001	1.187	5.268	0.001	0.010	0.001	0.001	0.037	0.001	0.050
170167	0.05	9.219	0.020	79.609	4.423	0.002	1.187	5.371	0.001	0.010	0.001	0.001	0.036	0.001	0.069
LCI		8.5		Rem	4.0		1	5							0
xl	0.05	8.982	0.020	80.242	4.291	0.001	1.102	5.244	0.001	0.019	0.001	0.001	0.037	0.001	0.083
LCS		10.5		Rem	5.0		2	5.5	0.08	0.10			0.15	0.15	0.20

En el cual se muestra el límite de composición interior (LCI), el límite de composición superior (LCS) y el promedio (xl) obtenido en el análisis para cada elemento. El Rem hace referencia al remanente de cada mínimo y cada máximo.

Las coladas 170160, -170161 y 170162 evidencian un aporte de zinc mayor en comparación con las demás coladas, al igual que aporte de plomo en la

colada 170160 a diferencia de las demás coladas, dado que los hornos empleados en la fusión y producción eran utilizados para la fusión de latón plomado el cual aporta cantidades de zinc y plomo considerables, a pesar que los hornos fueron limpiados con cobre, aún quedaron rastros de zinc y plomo en las paredes del refractario que fueron aportando en la fusión de la aleación bronce EXCA. Se verifico que a medida que se iba fundiendo una nueva colada el baño líquido iba lavando las paredes del horno y disminuyendo el zinc y plomo que podría estar presente, sin embargo la composición química seguía cumpliendo los rangos establecidos.

Los parámetros de funcionamiento del horno de sostenimiento de colada continua se muestra en la Tabla 10, en el cual se estabilizaron los tiempos de avance y espera del lingote, así como el *tap* o *tap* el cual es la suma del power off y el power on, el primero indica el tiempo en el cual el horno no está encendido, ya sea por problemas de máquina o tiempos normales de proceso y el segundo indica el tiempo en que el horno está operando realizando inducción magnética para ir regulando la potencia del equipo, el cual permitió mantener un lingote sin agrietamiento a la hora de ser extraído.

Tabla.10. Parámetros de operación horno de sostenimiento

COLADA	TEMPERATURA DE COLADA (°C)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	TAP	TIEMPO DE ESPERA (s)	TIEMPO DE AVANCE (s)	PRESION DE AGUA DEL SISTEMA (psi)
170160	1188	273	327	280	35	1.4	70
170161	1185	270	322	280	35	1.4	70
170162	1187	272	326	280	35	1.4	70
170163	1185	270	321	280	35	1.4	70
170164	1186	273	315	280	35	1.4	70
170165	1182	277	318	280	35	1.4	70
170166	1186	268	322	280	35	1.4	70
170167	1185	271	316	280	35	1.4	70

Durante el proceso se logró mantener los parámetros mostrados en la Tabla 10 en el cual el lingote realizaba el recorrido de avance y espera en segundos sin dificultad de extracción por parte del sistema hidráulico de la máquina.

Se realizaron ensayos de dureza Brinell a las muestras que se cortaron del lingote correspondiente a cada colada empleando el durómetro INDENTEC modelo 9150 LKV, como se observa en la Tabla 11.

Tabla.11. Dureza de los lingotes de bronce EXCA

COLADA	DUREZA HB	OBSERVACIONES
170160	213	Durante el proceso de extracción del lingote se adecuó un sistema de refrigeración secundaria (chorro de agua de bajo caudal directo en el lingote), a parte de la refrigeración empleada por el enfriador con el fin de aumentar la dureza
170161	211	
170162	210	
170163	215	
170164	213	
170165	212	
170166	208	
170167	210	

La velocidad de enfriamiento tanto en la refrigeración secundaria como la empleada por el enfriador se mantuvo igual a lo largo del lingote extraído para mantener una dureza homogénea en toda la muestra. En los resultados obtenidos de dureza se calculó la desviación estándar con un resultado de 2.20 HB el cual es una desviación relativamente baja la cual da entender que se logró mantener la dureza homogénea. Para Las propiedades mecánicas para aleaciones de bronce al aluminio tipo CuAl10Fe5Ni5, que incluye la aleación bronce EXCA, es aplicable la norma ASTM B505. Estas propiedades se muestran en la Tabla 12. Se observa que la dureza típica de este tipo de aleación es de 190 HB, sin embargo los resultados obtenidos de dureza de la aleación bronce EXCA se encuentran por encima de este valor como lo indica la Tabla 11.

Tabla 12: Propiedades de la aleación CuAl10Fe5Ni5 [26].

ALLOY CuAl10Fe5Ni5 - NICKEL ALUMINIUM BRONZE			SUMMARY OF PROPERTIES
Chemical Composition - percent			
Element			Nominal
Aluminium	Al	8.5 - 10.5	10.0
Iron	Fe	4.0 - 5.5	4.5
Nickel	Ni	4.0 - 6.0	5.2
Manganese	Mn	2.5 maximum	<0.2
Lead	Pb	0.03 max	<0.03
Copper	Cu	76.0 - 83.0	
Total Impurities		0.2 maximum	
Mechanical Properties [Typical]			Continuous Cast
0.2% Proof stress			290 MPa
Ultimate Tensile Strength			670 MPa
Elongation			15 %
Typical Hardness			190 HB (3000 Kg)
Specific Gravity			7.6
Machinability Rating (Free Machining Brass=100)			50

[27] <https://www.awfraser.co.nz>

(Consultado 2/3/2019)

No obstante los resultados obtenidos de dureza siguen siendo óptimos para la aplicación requerida dado que el incremento de la dureza proporciona un efecto positivo sobre la fatiga térmica.

10.3. Análisis microestructural

Se preparó una muestra de la aleación bronce EXCA correspondiente a la colada 170160, bajo la norma ASTM E3-11 (Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens), a pesar que fue la colada que tenía mayor aporte de plomo y zinc, sin embargo cumplía con los rangos requeridos en cuanto a composición química. La muestra fue atacada con nitrato férrico al 10% para revelar su microestructura y observada en un microscopio óptico de luz invertida.

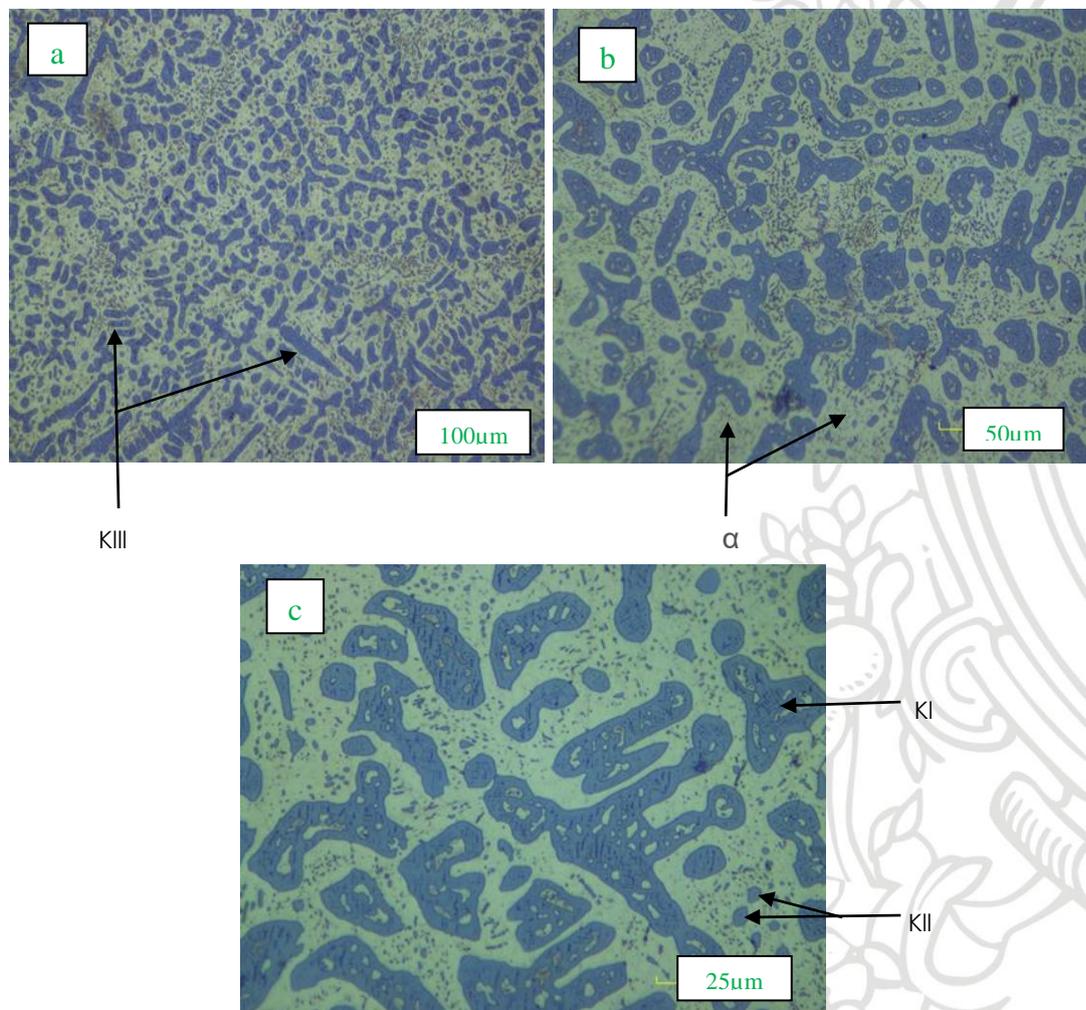


Figura 7. Micrografías representativas del bronce EXCA sin recocer a diferentes aumentos. Atacada con nitrato férrico al 10%

En la metalografía obtenida se observa una fase lamellar que se identifica como Kappa III, la cual es más dura y se forma a velocidades de enfriamiento lentas. La fase Kappa III es una fase eutectoide que se forma a velocidad de enfriamiento muy lentas a temperaturas cercanas entre 600-840°C y dependiendo de la velocidad de enfriamiento. De manera que la fase β remanente se transforma en el eutectoide ($\alpha + \text{KIII}$) de partículas globulares que subsecuentemente forman estructuras laminares o perlíticas y se forma en la frontera de los límites la cual corresponde a la fase Ni-Al. Esta reacción eutectoide cesa alrededor de los 660°C y normalmente no se alcanza a completar a velocidades normales de enfriamiento por lo que queda una porción de fase β sin reaccionar formando una estructura martensítica y sobre la cual sigue creciendo y nucleando la fase KIV [28].

Los bronce al aluminio aleados con níquel + hierro, tienden a presentar precipitados llamados kappa clasificados de la siguiente manera:

- KI (grandes dendritas con partículas ricas en hierro que consiste en Fe_3Al)
- KII (pequeñas partículas de forma globular de composición idéntica a la KI)
- KIII (tienen forma laminar con composición Al-Ni)
- KIV (agrupación de pequeñas partículas precipitantes Fe_3Al) [28].

[28] Sláma, Peter; Dlouhý, Jaromír y Kövér, Michal. (2013). Influence of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Bronze.

10.4. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizó con el fin de determinar las propiedades mecánicas de la aleación bronce EXCA. Se obtuvieron probetas de las coladas 170160 y 170161 para obtener la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación de la aleación como se observa en la Figura 8 y Figura 9.

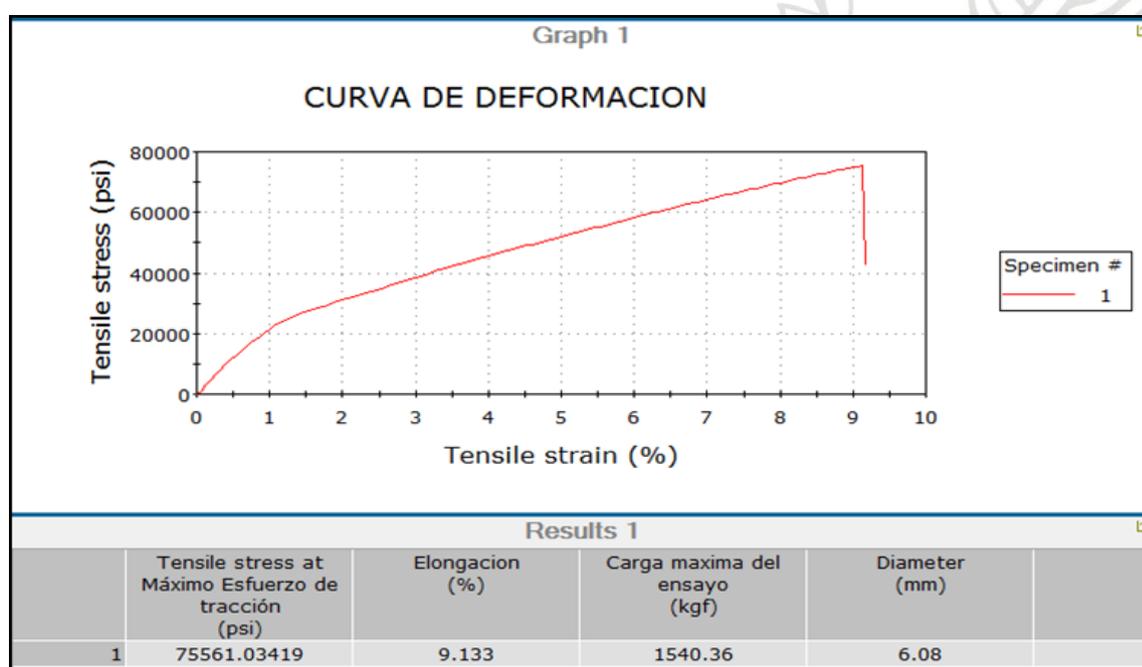


Figura 8: Curva de deformación aleación bronce EXCA colada 170160

Para la colada 170160 se empleó una carga máxima de 1540.36 kgf, en el cual se obtuvo una resistencia a la tracción de 75561,03 psi y un porcentaje de elongación de 9,133 % como se muestra en la Figura 8.

Para el ensayo de tracción para la colada 170161, se empleó una carga máxima de 1516,22 kgf el cual obtuvo una resistencia a la tracción de 74303.47 psi y un porcentaje de elongación de 9,60 % como se muestra en la Figura 9.

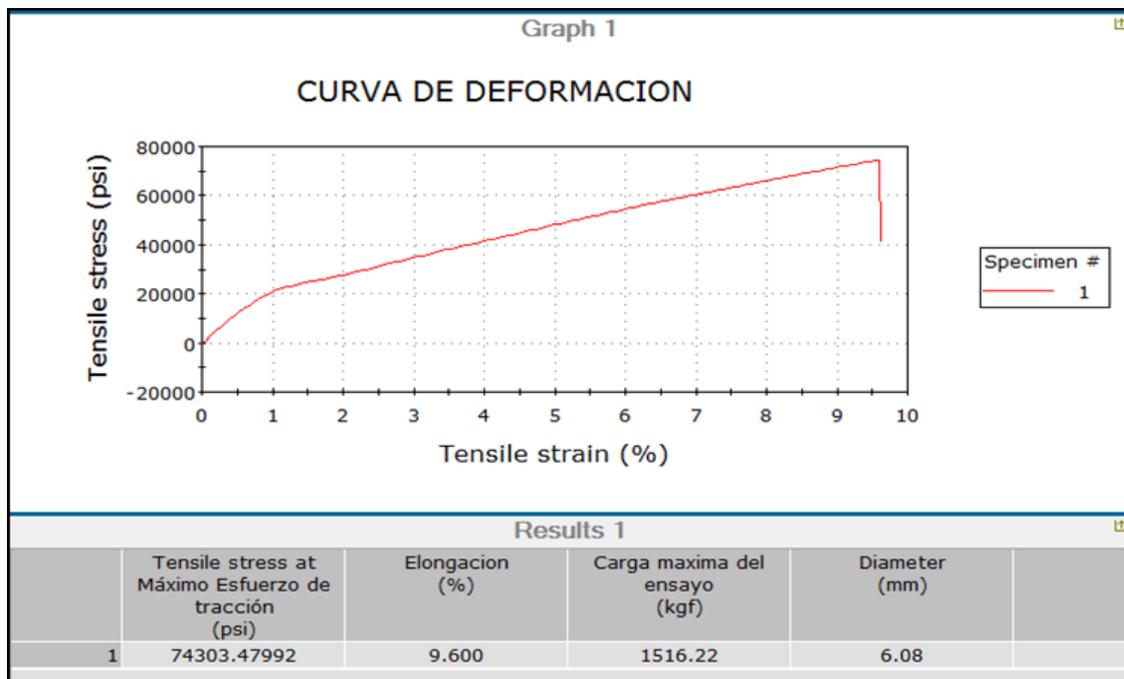


Figura 9 : Curva de deformación aleación bronce EXCA colada 170161

Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción comparados con resultados encontrados en la literatura de las propiedades mecánicas de la aleación tipo CuAl10Fe5Ni5, son mostradas en la Tabla 12. Aquí se indica una resistencia a la tracción de 670 MPa y un 15% de elongación en comparación con los resultados obtenidos para la colada 170160 fue de 74303,4 psi equivalente a 520,97 MPa y un porcentaje de elongación de 9,133%. Para el caso de la colada 170161, se obtuvo una resistencia a la tracción de 74303,47 psi equivalente a 512,30 MPa y un porcentaje de elongación de 9,60 %. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de lo especificado por la literatura dado que la aleación en desarrollo no fue sometida a tratamiento térmico de recocido, el cual disminuye la resistencia a la tracción y aumenta la elongación

10.5. Mecanizado

Se realizó un ensayo de mecanizado de una muestra de la colada 170160 con el fin de evaluar el tipo de viruta que este genera, dado que permite evaluar eficiencia del mecanizado.

Se empleó para el proceso de mecanizado una muestra de bronce BXX suministrada por la empresa INCOAL S.A, con el fin de hacer un comparativo

con la muestra de la colada 170160 en cuanto al mecanizado. Los parámetros empleados en el ensayo se muestran en la Tabla 8.

El tronzador empleado en el mecanizado fue de 1500 RPM, con avance de 0,1mm/min. La viruta obtenida de ambas aleaciones se muestra en las Figuras 10 y 11



Figura.10. Viruta aleación bronce EXCA



Figura.11. Viruta aleación bronce BXX

Tanto el bronce EXCA como el bronce BXX presentaron buena maquinabilidad, en ambos casos la viruta obtenida al momento del mecanizado era continua, sin embargo en el bronce EXCA la viruta era más fina, en forma de espiral y se desprendía más fácilmente, lo que permite que esta no se adhiera a la herramienta y pueda afectar el acabado superficial de la pieza. A pesar de que ésta viruta es continua y en algunos casos larga, no se observó que se hubiera enredado con la pieza ni que la rayara, debido a su forma de espiral la hacía consistente y la expulsaba por detrás de la herramienta. Esta viruta es apropiada en el proceso de cilindrado debido a que no se enreda con el material y por lo tanto no lo raya

La calidad superficial es de gran importancia en los procesos de corte del material debido a que las piezas necesitan cumplir determinadas características según el propósito para el cual fueron diseñadas, es decir, luego del mecanizado de un material se deben tener buenos resultados de homogeneidad y en el brillo de la superficie, al igual que en las dimensiones de la pieza.



11. CONCLUSIONES

Se lograron establecer las condiciones para la fabricación de la aleación bronce EXCA que cumple con las especificaciones de la norma ASTM B505 que hace referencia a las aleaciones de base cobre en coladas continuas, al igual que la norma SAE J462 para aleaciones de cobre. Las condiciones de fabricación son las siguientes:

Materias primas: Para garantizar la composición química requerida se debe emplear materia prima de primera calidad con el fin de impedir impurezas que pueden aportar otras de menor calidad. Para la fabricación del bronce EXCA se necesita chatarra de cobre de primera, con un mínimo del 99.9% de pureza, no debe tener aporte de zinc, emplear chatarra de aluminio, níquel puro, chatarra de hierro en presentación laminar con espesor inferiores a 3mm, con lo que se garantice la completa fusión de éste al ser incorporado en el baño fundido. Para la fusión del manganeso si es de tamaño de roca considerable, se debe triturar lo más fino posible dado que es un elemento de elevada temperatura de fusión, y hay que garantizar su fusión completa al ser incorporado al baño fundido. En el proceso de fusión del bronce EXCA emplear como fundente CUPRIFLUX, como desoxidante tubos de CS-3 conocidos como de punta verde, y para la desgasificación emplear donas de Cuprunsal número 8.

Tiempo de fusión y temperatura de vaciado: En el proceso de fusión y posterior vaciado se emplea un tiempo de 3,5 horas de fusión por colada y una temperatura de vaciado entre 1160°C y 1180°C.

Operación del horno de colada continua: Los parámetros óptimos empleados en la fabricación del bronce EXCA en cuanto a su voltaje manejarlo entre 270 y 273 voltio, amperaje entre 316 y 327 A, un tiempo de espera de 35 segundos y avance de 1,4 segundos del lingote, un *tap* de 280 y una presión del agua del sistema de 70 psi.

Estas condiciones para la fabricación de la aleación bronce EXCA garantizan obtener un material que cumpla con los requerimientos de calidad en cuanto a cero porosidad, fácil mecanizado, resistencia a la tracción, y dureza que garanticen la fabricación de moldes para la industria del vidrio.

12. RECOMENDACIONES

- El cobre empelado en la fusión debe ser chatarra de cobre de primera o conocido como cobre brillante en presentación alambre o platina sin incrustaciones de otros elementos, para evitar impurezas como el zinc que lo puede aportar el cobre de segunda.
- Si los hornos a emplear para la fusión de la aleación bronce EXCA, son utilizados para fundir aleaciones que contienen zinc, estaño y plomo, es recomendable realizar un lavado con cobre para eliminar los restos de zinc y plomo.
- El manganeso deben ser molidos finamente con el fin que se incorporen fácilmente al baño fundido, y agregarlos en cartuchos de cobre amarrados a la barra metálica de hierro, que se emplea para agitar el baño líquido y así permitir que se sumerjan y se incorporen más fácilmente en el baño líquido.
- El uso de materia prima para la fusión y producción de bronce EXCA es primordial debido que se necesita emplear materia prima lo más pura posible para la obtención de las propiedades mecánicas y composición química con baja impureza, sin embargo entre más pura es la materia prima mayor es su costo, es por ello que se debe sacrificar en costo para no sacrificar en propiedades mecánicas de las piezas a elaborarse.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.procobre.org/es/el-cobre/aleaciones/>
(Consultado el 2/11/2018)
- [2] Renno Gómez, Mario y Filho Bresciani, Ettore. Propiedades e usos de metais nao ferrosos. Edicao Revista ABM (Associacao Brasileira de metais). 1981
- [3] ASM international, copper and Copper Alloys. J. R. Davis: 2001.
- [4] COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION (CDA), The Brasses properties and applications. Inglaterra, 2005.
- [5] ASM Handbook volume 2, Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 10 edition 1991.
- [6] Leonardo Valdez Chávez, Instituto Politécnico Nacional de México, Metalurgia Aplicada En La Obtención De Un Bronce Complejo Al Aluminio, 2006
- [7] Vega Calvo, Carolina, et al. Mejoramiento de la Aleación de Bronce al Aluminio (2009).
- [8] HERENGUEL, Jean. Metalurgia especial. Urmo. 1971. p. 100-105. ISBN 9788431400941. (s.f.).
- [9] M. Sahoo, JO Edwards y R. Thomson, "Influencia de la corrosión que inhibe el tratamiento térmico en la microestructura y las propiedades mecánicas de la aleación de bronce de níquel-aluminio C95800
- [10] Meigh, Harry. Cast and Wrought Aluminum Bronzes, properties process and structure
- [11] Morral, F.R.; Jimeo,E y Molera,P. Metalurgia general. Barcelona. Reverté, S.A. 1985. P.1251-1285. ISBN 842916071X. (s.f.).
- [12] Ivan Richardson, edited by Carol Powell. Guide to Nickel Aluminium Bronze for Engineers edited by Copper Development Association Publication No 222 January 2016
- [13] <http://www.copperalloys.net/alloys/ab2.php>
(Consultado el 24/1/2019)

[14] <https://www.smithmetal.com/pdf/copper-brass-bronze/bronze-alloys/bs1400-ab2.pdf>
(Consultado el 24/1/2019)

[15] http://johnson-metal.dk/fileadmin/user_upload/pdf/JM7-E.pdf
(Consultado el 28/1/2019)

[16] https://www.copper.org/applications/marine/nickel_al_bronze/pub-222-nickel-al-bronze-guide-engineers.pdf
(Consultado el 28/1/2019)

[17] Eusebio Dionicio Padilla, Víctor Vega Guillén, Edgardo Tabuchi Matsumoto, Oswaldo Gonzáles Reynoso, Samuel Rosario Francia, Luis Villacorta, Nelson Dionicio Díaz. INFLUENCIA DEL MOLDE Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DEL BRONCE-ALUMINIO, 2004

[18] Francia Angélica Karlos Real, Abinadí Cantero De Jesús. Efecto de la adición de Cobre en la microestructura y en la dureza de la aleación de aluminio A319. Marzo 2014

[19] <https://www.belmontmetals.com>
(Consultado el 22-02-2019)

[20] Casting Copper alloys. Melt Control. AFS.

[21] Casting Copper alloys. Pouring. AFS

[22] A.K. Biswas, W.G. Davenport. El cobre. Metalurgia extractiva

[23] <https://tecnikasaray.com/proceso-colada-continua-horizontal/>
(Consultado el 5/2/2019)

[24] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid. Manufactura, ingeniería y tecnología

[25] <http://www.axxocol.com>
(Consultado el 3/3/2019)

[26] S.KalpaKjian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Pearson Educación, 4ª Edición

[27] <https://www.awfraser.co.nz>
(Consultado 2/3/2019)

[28] Sláma, Peter; Dlouhý, Jaromír y Kövér, Michal. (2013). Influence of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Bronze.



14. ANEXOS

. **ASTM B505 Standard Specification for Copper Alloy Continuous Castings:** esta norma establece requisitos para barras, tubos y formas de colada continua producidos a partir de aleaciones de cobre con composiciones químicas nominales.

. **SAE J462 Cast Copper Alloys:** esta norma prescribe los requisitos químicos y mecánicos para una amplia gama de aleaciones de fundición a base de cobre utilizada en la industria

