

FABRICACIÓN DE BRONCE AL MANGANESO UNS C86500 SEGÚN NORMA ASTM B584 PARA APLICACIONES MARINAS

Víctor Rafael Palacios Cevallos
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo Velasco, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
vpalacios@tecasen.com
vic_3@hotmail.com

Ing. Ignacio Wiesner Falconí
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo Velasco, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
iwiesner@espol.edu.ec

Resumen

Este trabajo se enfoca en la fabricación de bronce UNS C86500 en base a materiales de reciclaje; el proceso empieza en laboratorio con coladas a pequeña escala, las cuales son analizadas por el método de absorción atómica para conocer la composición química y así corregirlas progresivamente hasta llegar a los resultados que se ajusten a la norma ASTM B584.

Una vez alcanzada la composición química, se realizaron las demás pruebas de caracterización del material como: ensayos de tensión, microscopías, dureza. Los resultados conseguidos se verificaron por medio de la fabricación de una hélice de gran tamaño en el taller artesanal que ha hecho estas piezas por medio de reciclaje de chatarra de latón por más de cincuenta años. La experiencia ha servido para cambiar la producción con poco o ningún control al procedimiento que aquí se recomienda y que tiene la garantía de resultados consistentes con la normalización.

Palabras Claves: *Reciclaje, normalización, ensayos, resultados.*

Abstract

This work is focused in the fabrication of UNS C86500 brass based on recycled materials; the process starts in the laboratory with small melts which are analysed by the atomic absorption method to know the chemical compositions and correct them progressively until we reach the results that are consistent with the ASTM B584 standard.

Once we've reached the chemical composition, the rest of the tests (tension, metalography, hardness) for characterization of materials are performed. The results obtained were verified by the fabrication of a large scale ship propeller in the artisan workshop that has made this products with recycled brass materials for over fifty years. The experience served to change the production with little or no control on the procedure recommended herein and that has the guarantee of the results consistent with the standard.

Key words: *Recycled materials, standard, tests, results.*

1. Introducción

El reciclaje de chatarra para la fundición es una práctica de algunos años, según lo confirman talleres que han funcionado por años en el sector del astillero, que fue por mucho tiempo núcleo industrial de Guayaquil, en todo ese tiempo se usó como materia prima chatarra reciclada solamente, la fabricación de aleaciones nunca fue práctica general y todavía es una novedad el uso de normas para la producción de piezas fundidas para aplicaciones marinas como porta bocines, prensaestopas, hélices propulsoras y otras piezas, por ende el nivel tecnológico del medio de la fundición debe considerarse pobre.

El objetivo general de esta tesis es introducir a este mercado un material normalizado según estándares internacionales para la producción de piezas fundidas de uso marino como las antes mencionadas.

Los objetivos específicos son:

- Producir este material usando materia prima reciclada
- Uso de normas internacionales (ASTM)
- Usar técnicas experimentales de bajo costo
- Llegar a probar el método con una práctica real, y
- Transferir la tecnología al sector de la fundición artesanal

2. Metalurgia de la aleación

2.1 Importancia de la aleación para la fabricación de hélices.

Talleres Unidos Cevallos (TUC) es un negocio familiar dedicado al mantenimiento de barcos camaroneros, el cual por muchos años fabrica hélices para dichas embarcaciones en base a material reciclado de bronce. Esto da como resultado una hélice con valores desconocidos en su composición química, resistencia mecánica, dureza, etc.

Debido al aumento en el precio de los materiales a nivel mundial, TUC se vio en la obligación de producir un material que sea competitivo en el mercado dando una alta calidad a un precio accesible.

Comparando los diferentes materiales comúnmente usados en la fabricación de hélices marinas, destacan 3 tipos de bronce, además el acero inoxidable:

- Acero Inoxidable
- UNS C86500 (Bronce al manganeso número 1)

- UNS C95800 (Bronce al níquel aluminio, Bronce de hélices)
- UNS C95700 (Bronce al aluminio)

Los dos últimos son bronce al aluminio, con una resistencia mecánica y resistencia a la corrosión superior, pero por el alto contenido de cobre, níquel y manganeso, hacen que el costo de fabricación sea considerablemente alto.

Por otro lado se tiene la aleación C86500, básicamente un latón 60-40, con bajos contenidos de aluminio, hierro, manganeso. Éste es conocido como latón de alta resistencia y es el material más usado en la fabricación de hélices marinas a nivel mundial, debido a su bajo costo en comparación con las otras alternativas.

2.2 Metalurgia de la aleación

Los latones amarillos de alta resistencia (high strength yellow brasses), son también llamados bronce al manganeso y latones de alta tenacidad. Estas aleaciones de Cu-Zn-Fe-Al-Mn (C86100-C86800), se encuentran entre los materiales a base de cobre más fuertes (como productos de fundición). Las propiedades mecánicas de los latones amarillos de alta resistencia derivan principalmente de un alto contenido de fase β . β es estable en aleaciones binarias con un contenido de zinc superior a 39.5%, pero fuertes estabilizadores de β como el aluminio promueven su presencia a niveles bajos en el contenido de zinc, como en las aleaciones C86200 (25%Zn, 4%Al) y C86300 (26%Zn, 6%Al).

El hierro provee resistencia adicional, es un afinador de grano que aparece como un precipitado de compuesto intermetálico rico en hierro. El manganeso también contribuye a la resistencia, pero su función principal tiene que ver más con la facilidad de fundición (castability). Las aleaciones de alto contenido de zinc y bajo contenido de aluminio, tales como los C86400 y C86500 tienen estructuras dúplex ($\alpha + \beta$). Sus propiedades mecánicas están entre las de los latones amarillos y de las aleaciones únicamente con fase β , como las C86200 y C86300.

Los latones amarillos de alta resistencia se usan principalmente para productos mecánicos que requieren alta resistencia mecánica, resistencia al desgaste y resistencia razonablemente buena a la corrosión.

2.3 Propiedades mecánicas de la aleación

2.3.1 Metalografía

La metalografía óptica implica el examen de materiales usando luz visible para proveer una imagen ampliada de la micro y macroestructura. La microscopía (examen microscópico) involucra ampliaciones de más de 50X, en cambio la macroscopía solo llega hasta 50X. La microscopía óptica se usa para caracterizar estructuras revelando fronteras de grano, fronteras de fases, distribución de inclusiones, y evidencia de deformación mecánica.

Debido a que la macro y micro estructuras de metales y aleaciones usualmente determinan el comportamiento del material, la caracterización de los efectos de composición, proceso, condiciones de servicio, y otras variables parecidas en las macro y micro estructuras son requeridas frecuentemente.

Se toma como patrón la siguiente fotografía de la microestructura de la aleación, según datos tomados de la ASTM, y se los compara con la muestra de laboratorio.

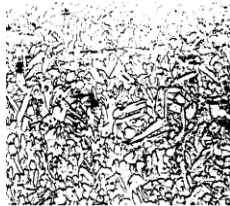


FIGURA 1.3. MICRO ESTRUCTURA DEL BRONCE AL MANGANESO TIPO UNS C86500

2.3.2 Resistencia mecánica

Los bronce al manganeso y los bronce al aluminio, se usan frecuentemente para las mismas aplicaciones, pero los bronce al manganeso se manejan más fácilmente en la fundición (son más fáciles de fabricar). Las resistencias a la tensión de los productos fundidos en arena alcanzan fácilmente resistencias hasta 800 MPa (115 ksi) y elongaciones de 15 a 20%; valores ligeramente más altos son posibles en fundiciones centrífugas.

2.3.3 Dureza

A pesar de que los bronce al manganeso en general tienen durezas en el rango de 125 a 250 HB, son fácilmente maquinables.

La dureza promedio de esta aleación (UNS C86500) se encuentra en el rango de 130 HB, en la figura se puede apreciar una relación de la dureza con respecto a la temperatura de recocido:

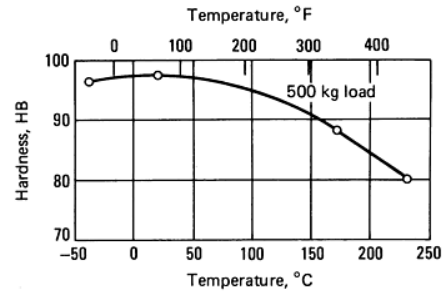


FIGURA 2.1. DUREZA DE LA ALEACIÓN UNS C86500

2.4 Métodos tradicionalmente usados para fabricar hélices

Se usara el método tradicional de fabricación de hélices marinas: moldeo en arena.

La fundición en arena es, con mucho, el proceso de fundición más importante. Para describir las características básicas del molde, se usará un molde de fundición en arena. Muchas de estas características y términos se aplican también a los moldes de otros procesos de fundición.

La figura 1.6 muestra un molde típico de una fundición en arena de una hélice marina. El molde consiste en dos partes: la semicaja superior y la semicaja inferior; las dos mitades están separadas por el plano de separación.

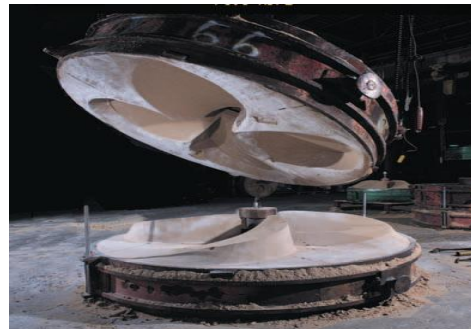


FIGURA 2.2. MOLDEO DE UNA HÉLICE EN ARENA

3. Metodología en Laboratorio

Se empieza calculando los porcentajes requeridos que se encuentren dentro de los rangos permitidos, según la norma ASTM B584 para el bronce al manganeso con especificación UNS C86500. Estos bronce son clasificados como latones amarillos de alta resistencia y tienen designación comercial de bronce al manganeso número 1.

A continuación se muestra por medio de un diagrama de bloques la metodología de trabajo propuesta para la obtención de la aleación:

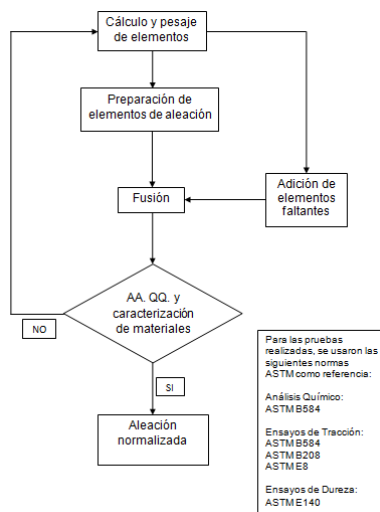


FIGURA 3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA OBTENCIÓN DE LA ALEACIÓN

Los rangos permitidos son los siguientes:

**TABLA I
RANGOS PERMITIDOS EN LA NORMA ASTM B584**

Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni	Sn	Pb
55,0-60,0	36,0-42,0	0,4-2,0	0,1-1,5	0,5-1,5	1,0 máx.	1,0 máx.	0,4 máx.

3.1 Materiales y Equipos Utilizados

3.1.1 Materiales Utilizados

- Cobre. Reciclado de cables eléctricos, con un 99,9% de pureza.
- Zinc. Reciclado de los barcos pesqueros. Este material se encuentra en pocas cantidades y en ocasiones escasea, por lo que es recomendable utilizar lingotes de zinc SHG (Super High Grade) que tienen una pureza de 99,9%.
- Aluminio. Reciclado de cables eléctricos, también con un 99,9% de pureza.
- Ferromanganeso. Este material no se encuentra en recicladoras, ya que no es un material muy comercial. Solo se lo puede conseguir en importadoras y en ocasiones, bajo pedido.

- Hierro. Este material se lo obtiene fácilmente en forma de clavos para madera.
- Níquel. Este material se lo consigue en los electrodos usados para soldar hierro fundido. Su costo es considerablemente alto, por lo que no se lo usa en fundiciones a gran escala.
- Estaño. No se usa estaño en estas pruebas debido a que no es factible el sacrificio en resistencia mecánica.
- Plomo. No se usa plomo en estas muestras, ya que no se puede sacrificar resistencia ni dureza en las hélices marinas.

3.1.2 Equipos Utilizados

- Horno de crisol
- Crisol
- Moldes metálicos
- Equipo de fundición
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Máquina para ensayos de tensión
- Máquina para ensayos de dureza
- Microscopios

3.2 Ensayos preliminares

3.2.1 Análisis Químico

**TABLA II
PORCENTAJES DE MUESTRAS INICIALES**

Muestras	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni
Muestra 1	52,17	42,62	1,73	0,63	1,36	0,01
Muestra 2	52,72	44,15	1,69	0,46	0,93	0,00
Muestra 3	54,90	40,45	1,90	0,64	1,16	0,00
Muestra 4	53,39	42,12	2,44	0,65	0,93	0,03
Muestra 5	53,48	42,29	1,11	0,32	0,94	0,01
Muestra 6	52,76	42,26	1,56	0,57	0,86	0,00
Muestra 7	54,89	40,14	1,01	0,44	0,71	0,01
Muestra 8	53,40	41,32	1,51	0,60	1,27	0,01
Muestra 9	53,90	42,70	2,19	0,01	0,19	1,09
Muestra 10	52,72	43,31	1,51	0,72	0,95	0,03
NORMA ASTM B584	55,00 - 60,00	38,00 - 42,00	0,20-2,00	0,10-1,50	0,50-1,50	1,00 max.

3.2.2 Ensayos Mecánicos

3.2.2.1 Ensayos de tracción

**TABLA III
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE
TRACCIÓN**

Muestras	σ_t (MPa)	Elongación (%)
Muestra 1	575,79	17,20
Muestra 2	360,06	2,00
Muestra 3	517,66	8,92
Muestra 4	451,75	7,21
Muestra 5	522,03	12,54
Muestra 6	531,36	11,56
Muestra 7	429,31	3,80
Muestra 8	515,53	14,92
Muestra 9	512,88	6,30
Muestra 10	282,28	5,06
Norma ASTM B584	448,00	20,00

3.2.2.2 Ensayos de dureza

**TABLA IV
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA**

Muestras	Dureza (HB)
Muestra 1	126
Muestra 2	131
Muestra 3	134
Muestra 4	140
Muestra 5	131
Muestra 6	146
Muestra 7	137
Muestra 8	132
Muestra 9	132
Muestra 10	131
VALOR REQUERIDO	130

3.2.3 Metalografías



**FIGURA 3.2 (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 1. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCl , 100 ML H_2O_2**

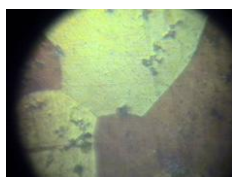
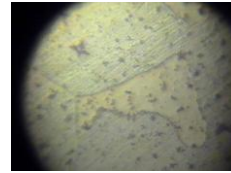
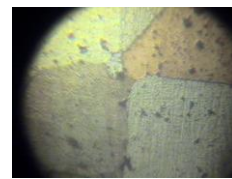


FIGURA 3.3. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 2. FUNDICIÓN EN ARENA.

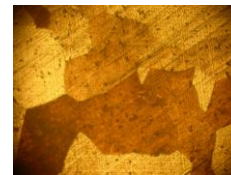
REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O



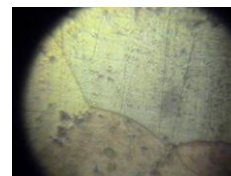
**FIGURA 3.4. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 3. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O**



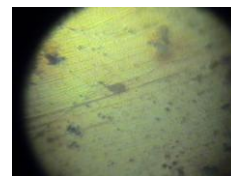
**FIGURA 3.5. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 4. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O**



**FIGURA 3.6. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 5. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCl , 100 ML H_2O_2**



**FIGURA 3.7. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 6. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O**



**FIGURA 3.8. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 7. FUNDICIÓN EN ARENA.
REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O**

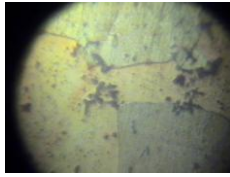


FIGURA 3.9. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 8. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NAACL (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O



FIGURA 3.10. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 9. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR $FECL_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2

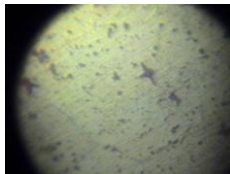


FIGURA 3.11. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 10. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NAACL (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

3.3 Ensayos finales con variación de los elementos de aleación y control de aleación en colado de hélices

3.3.1 Ensayo décimo primero

**TABLA V
PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO**

Muestra	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni
Muestra 11	57,30	40,40	0,22	0,51	0,88	0,27

TABLA VI

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCION

Muestras	σ_T	Elongación
Muestra 11	462,06	39,55

TABLA VII

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA

Muestras	Dureza
Muestra 11	103



FIGURA 3.12. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 11. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR $FECL_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2

3.3.2 Ensayo Final

TABLA VIII

PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni
Muestra 12	58,5	38,56	0,62	1,02	0,93	0,44

TABLA IX

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCION

Muestras	σ_T	Elongación
Muestra 12	519,98	16,03

TABLA X

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA

Muestras	Dureza
Muestra 12	134

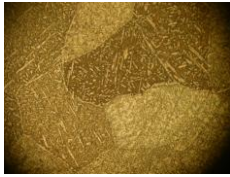


FIGURA 3.13. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 12. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FECL₃, 50 ML HCL, 100 ML H₂O₂

3.3.3 Colado de hélice

Se lleva a cabo el mismo proceso, pero a gran escala para fundir una hélice para un barco camaronero de 64 pulgadas de diámetro (2 m).

El manejo del metal fundido es muy diferente que en laboratorio, ya que aquí se manipulan aproximadamente 500 kg. de bronce a 1000 °C.



FIGURA 3.14. HÉLICE UNA VEZ FUERA DEL MOLDE

4. Evaluación de los resultados

4.1 Comparación de los resultados con la norma.

TABLA XI

PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANALISIS QUIMICO

Muestras	Cu (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (%)	Al (%)	Ni (%)
Muestra 12	56,7	40,24	1,12	0,18	1,04	0,04
NORMA ASTM B584	55-60	36-42	0,4-2	0,1-1,5	0,5-1,5	1 max

TABLA XII

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION

Muestras	σ_t	Elongación
Muestra 13	515,53	19,92
NORMA ASTM B584	448	20

TABLA XIII

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

Muestras	Dureza (HB)
Muestra 13	132
VALOR REQUERIDO	130



FIGURA 4.1. (320X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 13. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FECL₃, 50 ML HCL, 100 ML H₂O₂

4.2 Método de reciclaje

En el Capítulo 2, se pudo apreciar la metodología adoptada para la obtención de la aleación requerida, la misma que se debe incluir en el proceso de fabricación de las hélices, como se muestra a continuación:

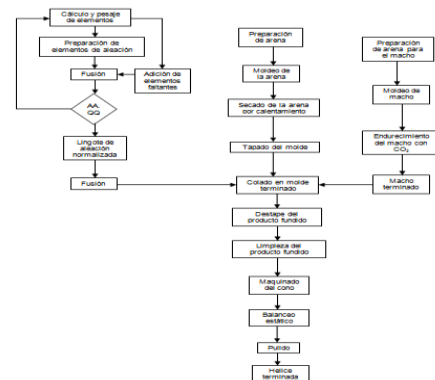


FIGURA 4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA EL TALLER OBTENIDA DE LAS EXPERIENCIAS GANADAS EN LABORATORIO

5. Conclusiones

- La prueba realizada en Talleres Unidos Cevallos resultó un éxito de transferencia de tecnología y una ganancia para todos los involucrados
- Los análisis químicos de los ensayos de laboratorio resultaron favorables una vez que se ajustó la técnica de trabajo.
- Los bronce al manganeso UNS C86500 son de fácil fabricación en relación a los otros bronce de alta resistencia, tienen suficiente fluidez y colabilidad, que son características muy deseables para los fabricantes de hélices, en cambio el bronce al aluminio es difícil de trabajar.
- La resistencia mecánica de estos bronce es lo suficientemente alta para soportar golpes (troncos en el agua u otros objetos en río o en altamar), aunque las hélices no son diseñadas para este propósito, pero tienen que soportar este tipo de cargas.
- El material obtenido muestra características físicas y químicas muy superiores a los materiales usados normalmente para la fabricación de hélices marinas, hechas tradicionalmente por los fundidores artesanales a un costo ligeramente superior, pero tienen la garantía de una calidad que dará larga vida en servicio

6. Recomendaciones

- Capacitar al personal del taller, para que sigan aplicando esta nueva tecnología.
- Uso de método visual para analizar probetas coladas en molde metálico, que darán al fundidor una idea del estado del metal antes de proceder al colado.
- Uso de termómetro
- Uso de ensayo de impacto, para verificar la resistencia y la ductilidad del material colado.
- Es recomendable tener un mejor control de la temperatura y de la atmosfera en el horno, dado que el cobre se oxida fácilmente.
- Al momento de añadir los elementos aleantes, se recomienda batir correctamente la colada para garantizar una mezcla con las proporciones requeridas.
- Añadir el zinc es la parte más delicada del proceso de fusión, ya que es el material con

menor punto de fusión y evaporación, por lo que es recomendable añadir un porcentaje adicional debido a las pérdidas. Este porcentaje lo da la experiencia.

7. Agradecimientos

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ignacio Wiesner, Director de Tesis, por su invaluable ayuda

8. Referencia Bibliográficas

- [1] Estándares ASTM American Society for Testing and Materials, ASTM B584, ASTM B208, ASTM E140, <http://www.astm.org/>
- [2] Albert G. Guy, Metalurgia física para ingenieros, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1964
- [3] Richard A. Flinn, Copper, brass and bronze castings, Non-Ferrous Founders Society, Inc., 1961
- [4] Raymond A. Higgins, INGENIERÍA METALÚRGICA. 1980
- [5] Guía para Elaboración de Tesis de Grado, (Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Enero 2003)
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 7, 8th Edition, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 15, 8th Edition, Casting
- [9] Ing. José A. Jara Espinoza, "Fabricación de cuproaluminios complejos" (Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 1994)
- [10] Baumeister/Avallone/Baumeister, Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Octava Edición, McGraw Hill, 1984
- [11] John Campbell, "Castings", Editorial Elsevier, 2004
- [12] John Campbell, "Castings Practice", Editorial Elsevier, 2004