

"ESTUDIO DEL PROCESO DE FUNDICION DEL COBRE PARA PRODUCCION DE ALEACIONES ESPECIALES"

Carlos N. Toro Aguilar¹, Ignacio Wiesner I²

1 Ingeniero Mecánico 1998

2 Director de Tesis. Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral 1971, Postgrado en Metalurgia, Investigador asociado al Centro de Investigaciones Metalúrgicas de Madrid, Visitante en el Instituto de Pesquisas Tecnológicas, profesor de la ESPOL desde 1975.

RESUMEN

El presente trabajo enfoca el estudio sobre la disolución de gases y grado de oxidación en cobre líquido y para la condición de alcado; evaluando el proceso en cada caso mediante ensayos de planta, control químico y pruebas metalográficas.

Una vez establecidos los parámetros adecuados del proceso, se procede a elaborar dos tipos de aleaciones con propiedades específicas, tales como Cobre – Cromo Norma UNS C81500 y Bronce al Estaño Norma C90500, haciendo variar en esta última el porcentaje de estaño entre un 9, 10 y 11%.

Los procedimientos de fundición llevados a cabo se realizan bajo un estricto control con la finalidad de establecer las condiciones y parámetros más propicios mediante los cuales las aleaciones obtenidas no solo cumplan con las normas, sino que además mejoren su calidad.

A lo largo del procedimiento experimental se aplica una técnica simple como lo es la inspección visual, a través de ella se puede discernir en forma rápida referente a las características del producto; mediante control de calidad que comprende pruebas de laboratorio, tales como análisis químico, microscopía y macroscopía óptica y pruebas de dureza, se pudo comprobar la validez de los resultados y homologarlos con las normas establecidas.

INTRODUCCION

En la actualidad, la importancia del desarrollo de investigación en el campo de la metalurgia nos conduce a mejorar la calidad de los procesos y abaratar costos. Para esto se requiere del conocimiento de los materiales involucrados en el procedimiento de fundición.

Por ser el cobre un metal de gran aplicación en la industria, y teniendo en cuenta sus excelentes características mecánicas, térmicas, eléctricas, etc.; fue escogido para desarrollar este trabajo e investigar los problemas más frecuentes cuando el material se expone a elevadas temperaturas, tales como la pérdida de carga por oxidación y la presencia de gases disueltos.

Nuestro objetivo aquí, fue buscar un método apropiado para desarrollar aleaciones en base cobre, previo al conocimiento del comportamiento de este metal. Esto se pudo llevar a cabo

realizando repetidas fusiones de cobre a temperaturas y tempos cambiantes con el propósito de obtener nuestras con diferentes grados de oxidación e hidrogenación.

El siguiente paso fue elaborar los cuatro tipos de aleaciones anteriores mencionados, mediante un estricto control de cada parámetro involucrado en el proceso de fusión; y tratando de reducir el grado de oxidación y disolución de gases en el metal con diferentes elementos químicos de acuerdo a cada aleación, y que reaccionan en la colada eliminando la mayor cantidad de oxígeno presente en la fundición.

CONTENIDO

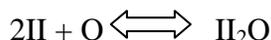
Las principales dificultades encontradas en la elaboración de aleaciones de cobre se deben a la acción del gas sobre el metal líquido. En la tabla I se indica la cantidad de hidrógeno disuelto en cobre como función de su temperatura.

Se conoce además que el hidrogeno es soluble en el cobre y que su solubilidad crece bruscamente con la temperatura, presentando una disminución drástica durante la solidificación. La figura I muestra la solubilidad de hidrógeno en cobre y en aleaciones cobre-estaño a presión y temperatura normales.

TABLA I
SOLUBILIDAD DE HIDROGENO EN COBRE

Temperatura (°C)	H ₂ disuelto (cm ³ /100 gr Cu)
1083, estado sólido	3,8
1083, estado líquido	8 a 12
1200, estado líquido	9 a 12

En las aleaciones corrientes la solubilidad del hidrógeno es más pequeña. Las diferentes operaciones metalúrgicas se explican fácilmente a partir de la conocida reacción:



Solubilidad y Reacciones de Hidrógeno:

El gas hidrógeno se disuelve en el cobre y sus aleaciones en forma de átomos:

$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}$. Se puede evaluar esta solubilidad por medio de la siguiente relación:

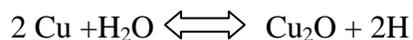
$$k = \frac{(\text{conc. } \text{H}_2 \text{ disuelto en el metal})}{(\text{conc. de } \text{H}_2 \text{ en la atmósfera del horno})}$$

Donde K = constante de solubilidad, [cc/100 gr de metal]

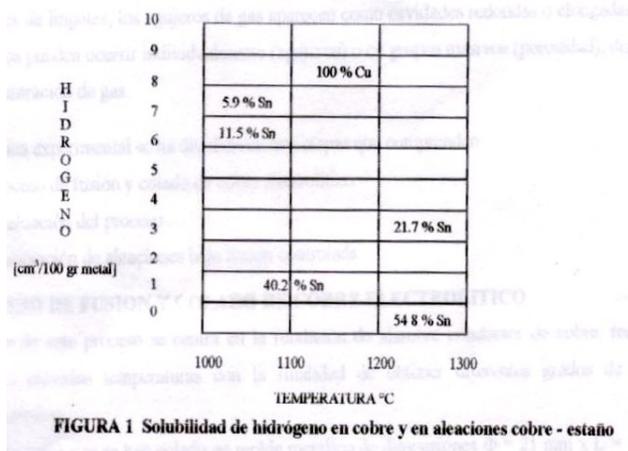
La "Ley de Sievert's" establece que:

$$K' = \sqrt{K} ;$$

pH₂ es la presión parcial del hidrógeno, y el valor K' depende solamente de la temperatura para una aleación dada. El hidrógeno puede entrar al cobre directamente a través de la atmósfera, pero es más probable que entre de acuerdo a la siguiente reacción:



El más común de los elementos aleantes para el cobre es el estaño, el cual disminuye la solubilidad del hidrógeno; por otro lado el níquel la incrementa.



El oxígeno también representa un potencial problema en la mayoría de aleaciones de cobre; en la ausencia de hidrógeno, el oxígeno por si solo no causa problemas, ya que tiene limitada solubilidad en la fundición. Sin embargo forma de óxido cuproso. Esto se esquematiza en la siguiente figura:

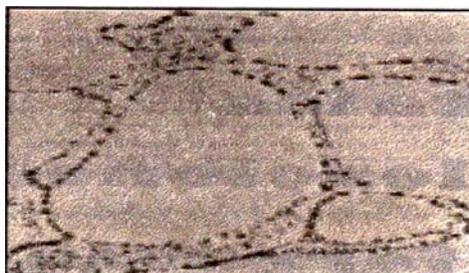


FIGURA 2 Eutéctico de cobre

En algunas aleaciones en base cobre, el más perjudicial de los gases es el vapor de agua. El agua por si misma no se disuelve en el metal líquido, pero ambos, hidrógeno y oxígeno lo hacen en sus formas atómicas. Durante la solidificación, estos gases disueltos se combinan en forma molecular como vapor de agua creando así porosidad cuando la presión del gas excede 1 atm o 760 mm de Hg.

El hidrógeno y vapor de agua pueden resultar de varias procedencias tales como una disminución en la solubilidad, sobreenfriamiento desde el estado líquido, reacción de óxidos metálicos con carbón en forma de CO y CO₂, y la reacción del metal líquido con la humedad presente en los moldes. Una cantidad tan pequeña como 1 ppm de H₂ produce gas en 44% del volumen de metal.

Como las concentraciones se incrementan al final de la solidificación, el hidrógeno o vapor de agua se desarrollan mediante reacciones reversibles. De esta manera se producen agujeros en la fundición los cuales se distribuyen a lo largo de las fronteras de grano que son las últimas partes en solidificar. En secciones de lingotes, los agujeros de gas aparecen como cavidades redondas o elongadas de contorno liso, ellos pueden ocurrir individualmente

(agujeros) o en grupos masivos (porosidad), dependiendo de la concentración de gas. La técnica experimental se ha dividido en tres etapas que comprenden:

1. Proceso de fusión y colado de cobre electrolítico
2. Evaluación del proceso
3. Elaboración de aleaciones bajo fusión controlada

PROCESO DE FUSION Y COLADO DE COBRE ELECTROLITICO

La base de este proceso se centra en la fundición de alambre conductor de cobre, recalentando el metal a elevadas temperaturas con la finalidad de obtener diferentes grados de oxidación e hidrogenación.

Todas las probetas se han colado en el molde metálico de dimensiones $\Phi = 21\text{mm} * L = 130\text{mm}$. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA II

PARAMETROS DEL PROCESO DE FUNDICION DE COBRE ELECTROLITICO

PROBETA N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (MIN).
1	1126	5
2	1160	10
3	1205	15
4	1253	20
5	1337	30

El proceso descrito anteriormente se esquematiza con un diagrama de flujo representado en la figura 3.

EVALUACION DEL PROCESO

Básicamente se controla mediante ensayos de planta en el momento mismo de fundición.

A través de este ensayo se logro obtener la siguiente información cualitativa:

Angulo de fractura (A.F.), Resistencia a la fractura (R.F.), Ductilidad (Duct.), tamaño de grano (T.G.).

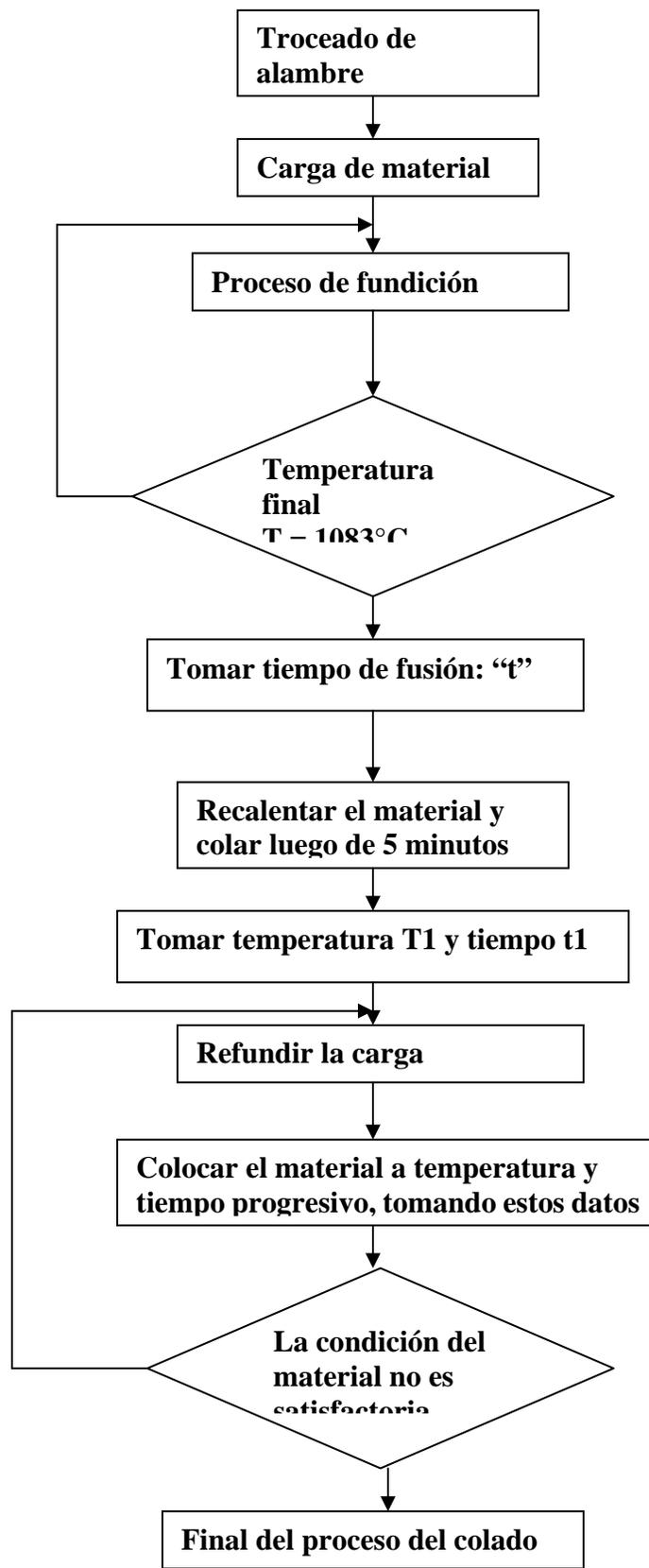


Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de fusión y colado de cobre electrolítico

Defectos Internos (D.I.)

TABLA III

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PLANTA PARA MUESTRAS DE COBRE FUNDIDO

PROBETA N°	A.F.	R.F.	DUCT.	T.G.	D.I.
1	19	ALTA	ALTA	MEDIO	BAJO
2	35	ALTA	MEDIA	MEDIO	BAJO
3	48	MEDIA	BAJA	GRUESO	MEDIO
4	62	BAJA	BAJA	GRUESO	MEDIO
5	80	BAJA	BAJA	GRUESO	MEDIO

Mediante el análisis microscópico determinamos la presencia de óxido de cobre (Cu_2O), como una fase presente alrededor de los bordes del grano.

Del análisis macroscópico se pudo evaluar la presencia de gas atrapado en cada probeta; defecto que se manifiesta de forma de porosidad y rechupe.

TABLA IV

RESULTADOS DEL ANALISIS METALOGRAFICO PARA MUESTRAS DE COBRE FUNDIDO

PROBETA N°	C.O. (%) [*]	Cu_2O (%) [*]	G.P.
1	0.19	1.75	BAJO
2	0.22	2.03	BAJO
3	0.26	2.39	MEDIO
4	0.32	2.95	ALTO
5	0.36	3.5	ALTO

Donde C.O. = Contenido del oxígeno en la fundición

G.P. = Grado de porosidad

* Valores estimados por comparación con patrones establecidos

ELABORACION DE ALEACIONES BAJO FUSION CONTROLADA

Específicamente han sido fundidas las aleaciones cobre – cromo y bronce al estaño tipos A, B y C. En las figuras 5 y 6 se esquematiza mediante diagrama de flujo los procedimientos seguidos para obtener los dos tipos de aleaciones.

CONTROL DE PROPIEDADES Y DE RESULTADOS OBTENIDOS

Entre las pruebas que determinan las propiedades principales en una aleación están: Análisis químico, metalografía y dureza.

TABLA V

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO ALEACION COBRE - CROMO

Elemento	Comp. Cargada (%)	Comp. Real (%)	Pérdidas
Cobre	98.69	99.08	
Cromo	1.31	0.98	25.18

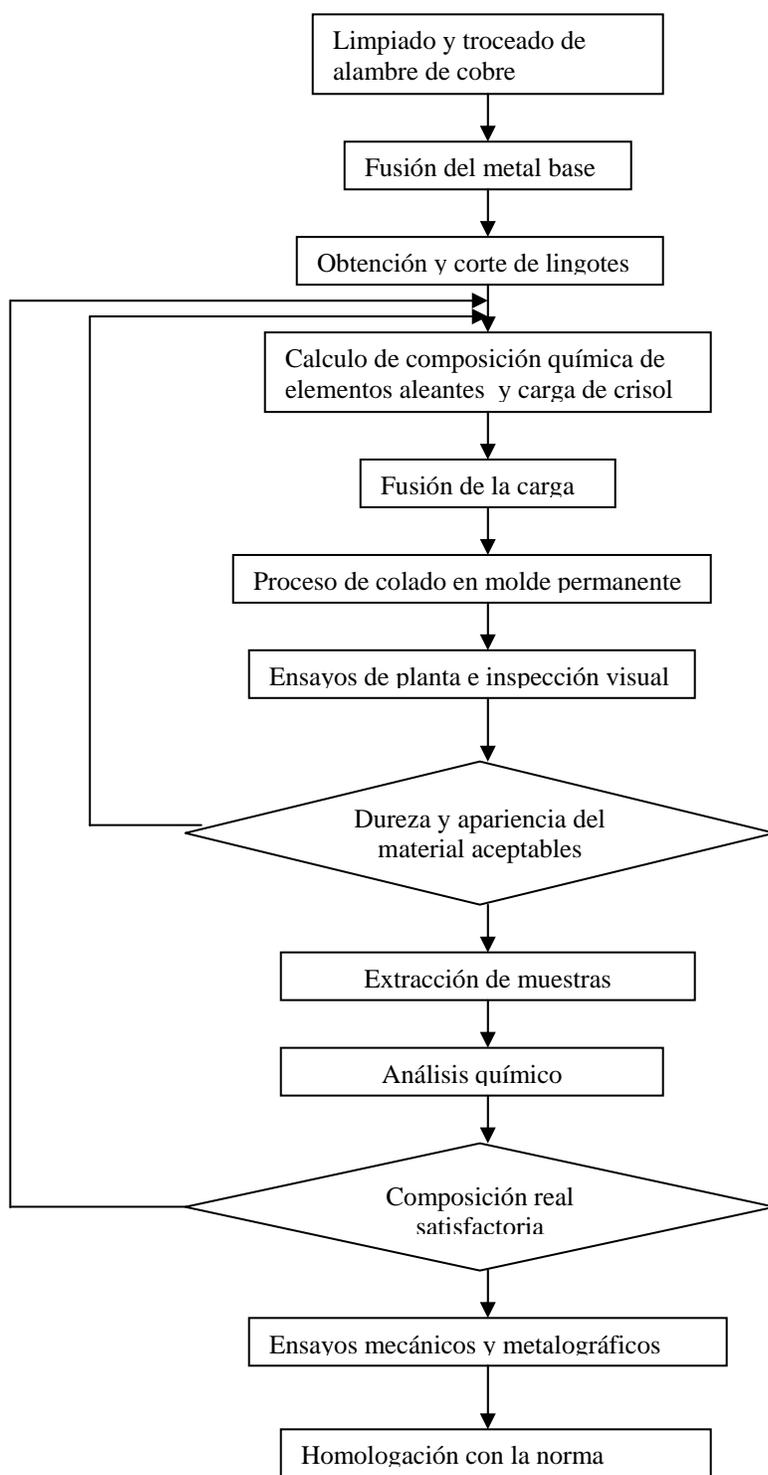


Figura 4 Método para elaborar la aleación cobre –cromo

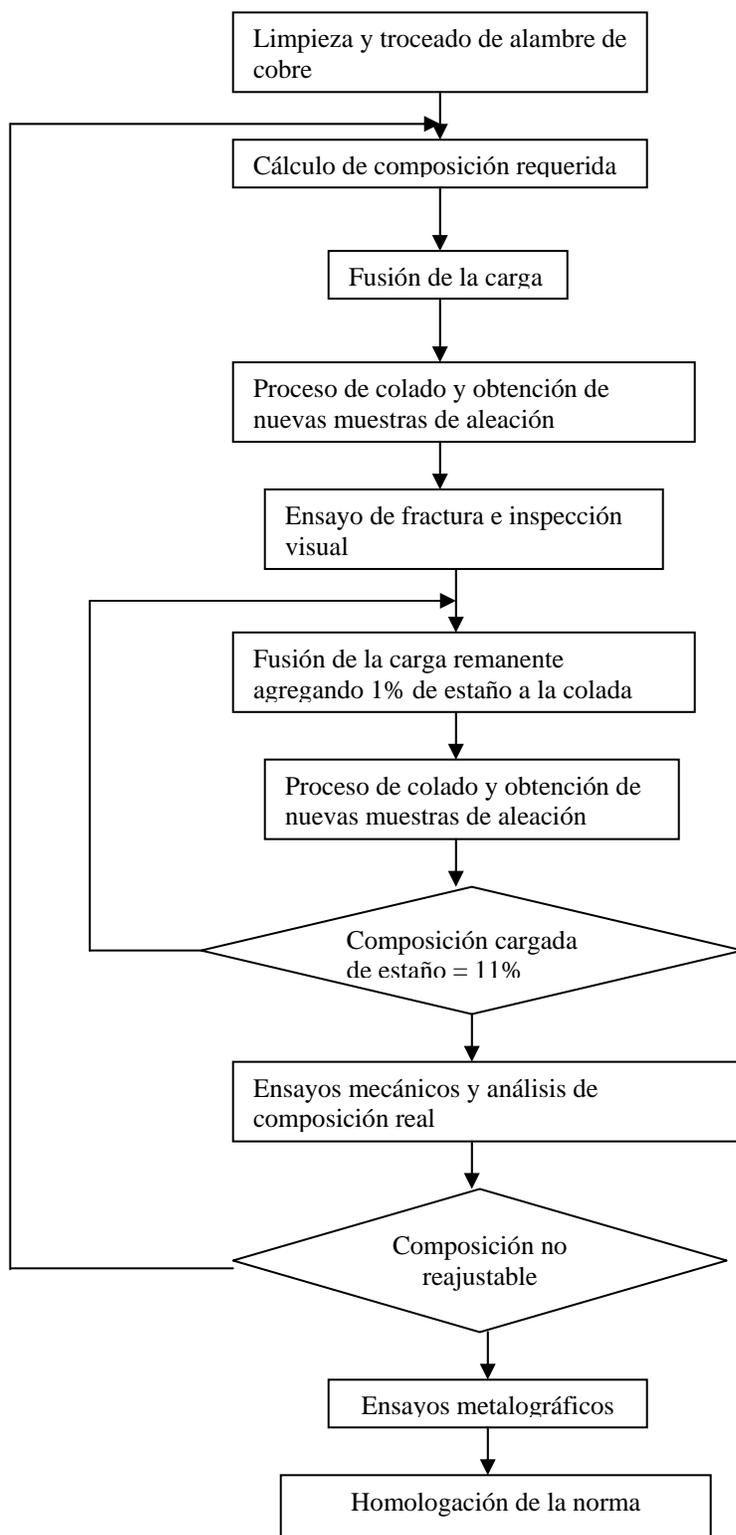


Figura 5 Proceso iterativo para elaborar la aleación final C90500

TABLA VI
PERDIDA TOTAL EN PESO ALEACIÓN C81500 TERCERA FUSION

Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdidas (%)
2633.25	2602	1.19

TABLA VII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO ALEACIÓN C90500

	Comp. Cargada (%)			Comp.Real (%)			Pérdidas(%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Cobre	87.52	86.44	86.44	87.34	86.30	85.66	0.20	0.16	0.90
Estaño	8.78	9.82	9.82	9.18	10.38	11.40			
Zinc	2.93	2.95	2.95	2.63	2.50	2.20	10.26	15.27	25.44
Níquel	0.49	0.49	0.49	0.43	0.43	0.43	12.3	12.26	12.28
Plomo	0.19	0.20	0.20	0.21	0.25	0.21			
Hierro	0.09	0.10	0.10	0.21	0.14	0.10			

TABLA VIII
PERDIDA TOTAL EN PESO ALEACIÓN BRONCE AL ESTAÑO

PESO INICIAL (G)	PESO FINAL (G)	PERDIDAS (%)
3756.25	3704.20	1.39

TABLA IX
RESULTADOS DEL ANGULO DE FRACTURA

ALEACIÓN	ANGULO DE FRACTURA
Cobre-Cromo	77
Bronce al Estaño tipo "A"	35
Bronce al Estaño tipo "B"	43
Bronce al Estaño tipo "C"	52

TABLA X
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

ALEACIÓN	DUREZA[BHN]
Cobre- Cromo	101
Bronce al Estaño tipo "A"	77.8
Bronce al Estaño tipo "B"	81.4
Bronce al Estaño tipo "C"	87.2

Los resultados del análisis metalográfico son similares a aquella microestructura que muestra en la figura número 2.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado establecer una metodología para evaluar la calidad del cobre electrolítico cuando se somete a elevadas temperaturas y tiempo de fundición.
- La técnica de microscopía y macroscopía óptica es la más útil para investigar el efecto del contenido de oxígeno en cobre fundido.
- Al elaborar la aleación Norma C81500, siempre se obtienen pérdidas de cromo; debiendo aplicar una técnica basada en el estricto control de parámetros de fundición y además añadir un exceso de cromo de alrededor del 25% para tratar de restablecer dichas pérdidas.
- Pequeños tamaños de grano en la aleación Cobre –Cromo, mejoran notablemente su resistencia.
- Para elaborar la aleación Bronce al Estaño no es necesario realizar ningún tipo de aleación madre, debido a que todos sus elementos aleantes se combinan perfectamente en la colada; eso sí, se deben agregar uno a uno en el respectivo orden.
- La pequeña variación en el porcentaje constitucional del estaño para los tres tipos de aleación Norma C90500, no fue suficiente como para investigar el contenido de hidrógeno.
- Si comparamos la complejidad del proceso de fundición para las dos aleaciones obtenidas, se puede decir que efectivamente la aleación Cobre – Cromo es mucho más difícil de fundir que el Bronce al Estaño.
- El uso de desoxidantes sólidos es muy efectivo, y se debe utilizar el tipo y cantidad específica para cada material y aleación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centre Technique des Industries de la Fonderie, Methodes D`Elaboration des Alliages de Cuivre, 1984 . Paris. pp. 3,4.
2. ASM International Metals Handbook, volumen 2, Properties and Selection Nonferrous Alloys and Pure Metals, 1989.USA.pp 396,418
3. A.Biederman y L.M. Hassckieff, Tratado Moderno de Fundición de Metales no Ferrosos, Hornos Eléctricos, Ensayos de Metales, Segunda Edición. Barcelona.pp. 64,65,106-108.
4. Centre Technique des Industries de la Fonderie, La perte par Oxidation en Fonderie D`Alliages de Cuivreux, 1984 . Paris. pp. 2-5, 9-14.
5. ASM International Metals Handbook, volumen 15, Casting, 1988.USA.pp 466-469.
6. American Foundrymen`s Society Inc, Casting Copper- Base Alloys, Des Plines, Illinois.1984. USA.pp. 165-168.
7. Centre Technique des Industries de la Fonderie, Alliages –Meres et Desoxidants Utilices en Fondiere D`Alliages Cuivreux, 1982 . Paris. pp. 17-22.