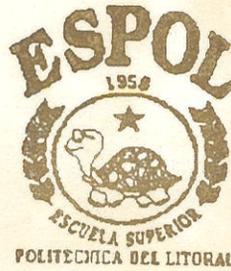


T
669.3
866



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica



**Fabricación de la Aleación Bronce al
Silicio Bajo Norma Americana uns
C87200 (SAE J462)**



TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERA MECANICA

Presentada por:

Sayra Elizabeth Orellana Factos



Guayaquil

Año

Ecuador

1996

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al
Ing. Ignacio Wiesner Falconi,
por haberme transmitido sus
conocimientos y apoyarme
en forma incondicional en la
realización de esta tesis.

Así como también a todas
las personas que de una u
otra forma colaboraron
conmigo.

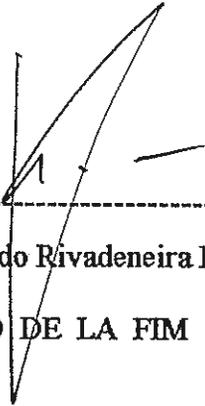
DEDICATORIA

A Dios y la Virgen Santísima por haber guiado mis pasos en cada instante de mi vida.

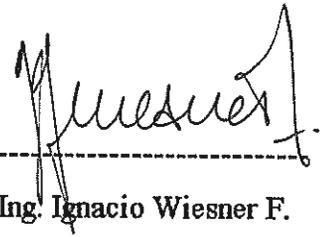
A mis padres que se esforzaron y me apoyaron, como una muestra del amor y la inmensa gratitud que tengo hacia ellos.

A mis hermanos que en cada momento me incentivaron a seguir adelante y escalar nuevos triunfos.

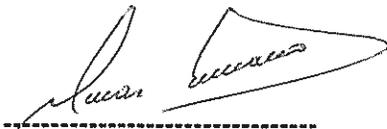
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



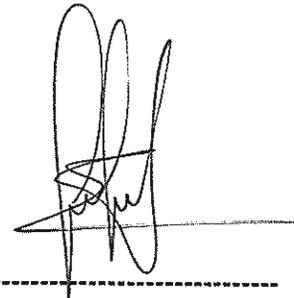
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIM



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Omar Serrano V.
VOCAL



Ing. Julián Peña E.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, reading "Sayra Elizabeth Orellana Factos", is written over a horizontal dashed line. The signature is cursive and includes a stylized flourish at the end.

Sayra Elizabeth Orellana Factos.

RESUMEN

Para la fabricación de la Aleación Bronce al Silicio a partir de reciclaje de chatarra y metales puros, cuya composición química es: 89% Cobre, 1 - 5% Silicio, 5% Zinc, 2.5% Hierro, 1.5% Manganeso, 1.5% Aluminio, 1.0% Estaño, 0.5% Plomo; basada en la Norma UNS C87200 (SAE J462), se desarrolló una técnica de trabajo en la que la práctica de fusión lleva control de colada en planta por medio de inspección visual por comparación con patrones de propiedades próximas que se llevaron a cabo en el momento mismo de su fabricación .



BIBLIOTECA
CENTRAL

Analizando sus componentes, fue necesario elaborar una aleación madre en la que se alearon el Aluminio, Estaño y Plomo; el Silicio y el Hierro se los obtuvo utilizando Ferrosilicio, siendo necesario que todos los metales presentes en esta aleación se encuentren en cierto grado de pureza.

Una vez obtenida la Aleación se realizaron los ensayos de Control con Pruebas de Composición Química, Metalografía, Ensayos de Tracción, Dureza; obteniéndose resultados satisfactorios que se basan en la Norma antes mencionada, lo cual la convierte en una aleación utilizable en la Industria de la Fundición para la producción de piezas que reemplazan a las tradicionalmente hechas en bronce al estaño y con un costo inferior.

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCION	13
CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEORICOS	
1.1 Importancia Tecnológica de la Aleación Bronce al Silicio.	15
1.2 Composición Nominal y Propiedades	16
1.3 Influencia de los Elementos Aleantes	29
1.4 Metalurgia del Bronce al Silicio	30
1.5 Fundamentos del Proceso de Fusión	35
1.6 Control de Calidad	40
1.7 Aplicaciones en la Ingeniería	44
CAPITULO II. TRABAJO EXPERIMENTAL	
2.1 Objetivo y Técnica	45
2.2 Materiales y Equipo utilizado	54
2.3 Obtención de Muestras Fundidas	60
2.4 Ensayos de Planta	84
2.5 Pruebas de Acuerdo a Norma UNS C87200 (SAE J462)	91
2.6 Resultados Obtenidos	95

CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Con relación al Proceso de Fusión 102

3.2 Con relación a la Calidad de la Aleación Obtenida. 104

CAPITULO IV.

4.1 Conclusiones 108

4.2 Recomendaciones 109

ANEXOS 111

BIBLIOGRAFIA 116

INDICE DE FIGURAS

Nº		Página
1	Diagrama de Equilibrio del Bronce al Silicio	32
2	Sección a través de un lingote, y las 3 zonas básicas de solidificación que se pueden hallar en una Fundición	34
3	Diagrama de Fabricación de la Aleación Bronce al Silicio	40
4	Obtención de Cobre y Aluminio a partir de Chatarra	46
5	Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb	48
6	Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Cu, Zn, Al	50
7	Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Al, Sn, Pb	52
8	Fotografía del Horno de Crisol que usa como combustible gas propano	57
9	Fotografía del Crisol de Grafito	58
10	Fotografía del Molde de Acero	59
11	Resultados del Ensayo de Planta Lote 1	85
12	Resultados del Ensayo de Planta Lote 1 más el 5% de Cobre	86
13	Resultados del Ensayo de Planta Lote 1 más el 10% de Cobre	87
14	Resultados del Ensayo de Planta Lote 2	88
15	Fotografía de la Fractura por Flexión Lote 1	89
16	Fotografía de la Fractura por Flexión Lote 1 más el 5% de Cobre	89
17	Fotografía de la Fractura por Flexión Lote 1 más el 10% de Cobre	90
18	Fotografía de la Fractura por Flexión Lote 2	90
19	Fotografía de las Probetas para el Ensayo de Tracción	94
20	Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 1	99

21 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 1 más el 5% de cobre	99
22 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 1 más el 10% de cobre	100
23 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 2	100
24 Diagrama del método efectivo de Fabricación de la Aleación Bronce al Silicio	106
25 Diagrama del Proceso de Elaboración de Elementos Mecánicos a partir de Aleación Certificada Bronce al Silicio	107

INDICE DE TABLAS

Número		Página
I	Composición Nominal del Bronce al Silicio	16
II	Procesos de Soldadura en los Bronces al Silicio	20
III	Aplicaciones de los procesos mas usados en los Bronces al Silicio	22
IV	Resistencia a la Corrosión del Bronce al Silicio en diferentes medios	23
V	Propiedades de Fusión de algunas Aleaciones de Cobre	27
VI	Ajuste de la Composición Química de la Aleación Bronce al Silicio	47
VII	Composición de la Aleación Madre Zinc, Aluminio, Estaño , Plomo	49
VIII	Composición de la Aleación Madre Cobre, Zinc, Aluminio	51
IX	Composición de la Aleación Madre Aluminio, Estaño y Plomo	53
X	Composición Cargada para elaborar la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb	61
XI	Resultado del Análisis Químico de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb	
	Primera técnica	63
XII	Pérdida Total en peso de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb	
	Primera técnica	63
XIII	Pureza del Estaño	64
XIV	Resultado del Análisis Químico de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb	
	Segunda Técnica	66
XV	Pérdida Total en peso de la Aleación Madre Zn, Al,Sn, Pb	
	Segunda Técnica	66
XVI	Composición Cargada para elaborar la Aleación Madre Cu, Zn, Al	68
XVII	Pérdida Total en peso de la Aleación Madre Cu, Zn, Al	

Primera Técnica	69
XVIII Pérdida Total en peso de la Aleación Madre Cu, Zn, Al	
Segunda técnica	71
XIX Composición Cargada para elaborar la Aleación Madre Al, Sn, Pb	72
XX Pérdida Total en Peso de la Aleación Madre Al, Sn, Pb	73
XXI Resultado del Análisis Químico de la Aleación Madre Al, Sn, Pb	74
XXII Composición Cargada para fabricar la Aleación Bronce al Silicio Lote1	76
XXIII Composición Cargada para refusión Lote 1 más el 5% de Cobre	78
XXIV Composición Cargada para refusión Lote 1 más el 10% de Cobre	79
XXV Composición Cargada para fabricar la Aleación Final Lote 2	81
XXVI Resultados del Angulo de Fractura	84
XXVII Resultados del Análisis Químico Lote 1	95
XXVIII Pérdida Total en Peso Lote 1	95
XXIX Resultados del Análisis Químico Lote 1 más el 5% de Cobre	96
XXX Pérdida Total en Peso Lote 1 más el 1 más el 5% de Cobre	96
XXXI Resultados del Análisis Químico Lote 1 más el 10% de Cobre	97
XXXII Pérdida Total en Peso Lote 1 más el 10% de Cobre	97
XXXIII Resultados del Análisis Químico Lote 2	98
XXXIV Pérdida Total en Peso Lote 2	98
XXV Resultados de la Prueba de Dureza	101
XXXVI Resultados del Ensayo de Tracción	101

INTRODUCCION

El Cobre es el metal más importante durante el periodo más largo de la historia del hombre. La edad del bronce se refiere al periodo de la historia durante la cual el hombre elaboró herramientas del cobre y de las aleaciones que ocurrían naturalmente en estado libre.

El cobre debe ser aleado con otros elementos debido a que éste, en estado puro, es difícil de fundir así como también es propenso a sufrir agrietación superficial, problemas de porosidad y a la formación de cavidades internas.

Las posibilidades de alear el cobre son numerosas, tal es así que su clasificación se basa en la composición de la misma, teniendo dentro de esta clasificación a los Bronces al Silicio que en la actualidad tienen gran acogida en otros países debido a las múltiples ventajas que poseen, lo cual sirve para cubrir gran parte de los requerimientos de la Industria de la Fundición.

Los bronce al Silicio son aceptados como sustituto de los bronce al estaño en ciertas aplicaciones, tienen propiedades mecánicas comparables a las del acero al medio carbono y resistencia a la corrosión comparable a la del cobre; razón por la cual dentro de sus aplicaciones encontramos elementos mecánicos como engranajes, Rodamientos, partes de válvulas, herramientas marinas, bombas, impellers, entre otras.

El objetivo de la realización de este trabajo es colaborar con la Industria de la

Fundición en relación al establecimiento de una Técnica de trabajo para la fabricación de la Aleación Bronce al Silicio basada en la Norma Americana UNS C87200, (SAE J462) la cual pasará a ser materia prima para la fabricación de los diferentes elementos antes mencionados, es decir será un aporte para el desarrollo tecnológico de nuestro país.

CAPITULO I FUNDAMENTO TEORICO

1.1 IMPORTANCIA TECNOLÓGICA DE LA ALEACION BRONCE AL SILICIO.

Los Bronces al Silicio son aleaciones a base de cobre, que contienen 1 - 5% de silicio y la presencia de otros elementos aleantes los cuales mejoran sus propiedades mecánicas.

Su importancia tecnológica radica en que son las mas fuertes de las aleaciones de cobre endurecibles por trabajado, tienen propiedades mecánicas comparables a las del acero al medio carbono y resistencia a la corrosión comparable a la del cobre, además son aceptadas como un sustituto del bronce al estaño en ciertas aplicaciones.

En la actualidad se ha llegado a obtener piezas fundidas de esta aleación tan buenas como las coladas con otros bronce. Estos metales son mas económicos que los bronce al estaño, tienen muy buena fluidez, se los utiliza principalmente para la fundición en moldes de arena.

Esta aleación ofrece la ventaja principal de la eliminación de los problemas de contaminación en la atmósfera y de los desperdicios sólidos en la fundición.

Tiene excelentes propiedades como: Resistencia a la corrosión en una gran cantidad de medios oxidantes, resistencia a la tensión, dureza, tenacidad, además tienen un rango de solidificación alto, lo cual es una ventaja para el colado en moldes y por lo tanto en la industria de la Fundición.

1.2 COMPOSICION NOMINAL Y PROPIEDADES.

Esta aleación es calificada como un Bronce al Silicio por virtud de la limitación del contenido de zinc (5% max), ya que los bronce al silicio contienen no mas allá de 5% de zinc y los latones contienen un porcentaje mayor a este.

COMPOSICION NOMINAL.

Su composición es:

TABLA I Composición Nominal del Bronce al Silicio

Elemento Aleante	Mínimo	Máximo
Cobre	89	
Silicio	1	5
Zinc		5
Hierro		2.5
Aluminio		1.5
Manganeso		1.5
Estaño		1
Plomo		0.5

FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCION DE LA ALEACION MAS ADECUADA.

Para elegir la aleación más apropiada para la colada de una pieza de características determinadas, deben considerarse varios factores. En primer lugar

deben considerarse los que afectan la producción; es decir que se debe examinar si la aleación que se desea emplear reúne las propiedades indispensables necesarias para el procedimiento de colada elegido. En segundo lugar, si las propiedades que posee la aleación elegida, una vez efectuada la colada, satisfarán las exigencias impuestas para la pieza terminada.

Entre las aleaciones mismas destinadas a la fundición, hay ciertos factores que las hacen más o menos adecuadas para determinadas aplicaciones. Mencionamos a continuación únicamente los dos factores siguientes:

Estabilidad de la Composición Química: Este factor se refiere a la estabilidad de la composición química durante la fusión y la refusión y, por consiguiente, a la facilidad relativa para efectuar coladas de buena calidad.

Buenas Propiedades para la Fundición: Este factor se refiere a las propiedades de la aleación para llenar el molde sin que sobrevengan durante la colada rajaduras. Además, indica que la aleación en cuestión tiene una contracción relativamente baja.

La aleaciones que poseen una elevada estabilidad en su composición durante su fusión, y que tienen buena fluidez y contracción reducida, es decir, “buenas propiedades para la fundición” son las más apropiadas para la colada de piezas de diseños complejos o de paredes finas.

En lo que se refiere a las propiedades que deben reunir las piezas a fabricar, debe verificarse en primer lugar si la resistencia a la tracción, la ductilidad, la

resistencia al impacto, o sea las propiedades mecánicas exigidas, pueden obtenerse de la aleación elegida. Por lo general es imposible encontrar los valores óptimos para cada característica en la misma aleación, y se debe casi siempre sacrificar hasta un cierto grado una u otra de las calidades deseadas, para obtener el valor máximo de la propiedad más importante.

Deben considerarse, además, varios factores, que intervienen en grado mayor o menor, de acuerdo con la naturaleza del objeto a elaborar. Enumeramos a continuación los más importantes.

Estabilidad Mecánica: Este factor indica la tendencia de la aleación a retener sus propiedades mecánicas iniciales después de haberse efectuado la colada; en efecto, ciertas aleaciones tienen una tendencia a modificar sus propiedades mecánicas y a veces también sus dimensiones, a la temperatura ambiente, con el correr del tiempo. Esta última característica es inadmisibles cuando se trata de piezas de precisión.

Resistencia a la Corrosión Superficial: Este factor se refiere a la aptitud de la aleación elegida para resistir a los agentes atmosféricos salinos a la temperatura ordinaria. A este respecto puede decirse que un metal con un tamaño pequeño de cristales o granos y con una estructura lo más uniforme posible, tendrá la mejor resistencia a la corrosión.

Maquinabilidad: Este factor indica la facilidad con que la pieza fundida puede someterse a un maquinado por medio de herramientas cortantes.

PROPIEDADES.

Las propiedades que lo caracterizan son:

- Dureza: 85 HB
- Resistencia a la Tensión: 380 MPa, 38.8 Kg/mm² , (55 Ksi)
- Resistencia a la Cedencia: 170 MPa, 17.6 Kg/mm² , (25 Ksi) en 0.5% de extensión bajo carga.
- Elongación: 30% en 50 mm o 2".
- Modulo de Elasticidad: Tensión 105 GPa , (15 * 10⁶ psi)
- Resistencia a la Compresión: 415 Mpa, (60 Ksi) bajo carga permanente 10%
- Densidad: 8.4 Mg/m³, (0.302 lb/in³) a 20 °C.
- Punto de Fusión: Líquido 916 °C , (1680 °F)
Sólido 821 °C, (1510 °F)
- Conductividad Térmica: 28 W/m K, (16 Btu/ft.h.°F) a 20 °C.
- Resistencia al Impacto: 33 ft-lb
- Maquinabilidad: 50% de C36000

Su combinación de propiedades da buena fluidez, resistencia a la corrosión y soldabilidad.

SOLDABILIDAD.

De todas las aleaciones de cobre, los Bronces al Silicio son generalmente considerados los más fáciles de soldar como resultado de su baja conductividad térmica y los efectos dioxidantes del silicio.

TABLA N° II Procesos de Soldadura en los Bronces al Silicio

SOLDADURA DE ARCO	Calificación
GMAW	A
GTAW	A
Arco Sumergido	D
SMAW	C
SOLDADURA POR RESISTENCIA	Calificación
Soldadura de Punto	A
Soldadura por Costura	A
Soldadura a Tope	A

Nota: A: Muy satisfactorio B: Satisfactorio
 C: Uso restringido D: Prohibido su uso

El proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding) Soldadura de Arco con Metal y Gas Protector puede ser utilizado para soldar los Bronces al Silicio siendo este un proceso que consiste básicamente en mantener un arco eléctrico entre la pieza a soldar y el extremo de un electrodo consumible constituido por un alambre continuo

que se alimenta hacia el arco automáticamente desde la boquilla; el procedimiento puede ser totalmente automático o semiautomático.

El arco se mantiene bajo una atmósfera de gas de protección que impide que el aire circundante alcance el charco de soldadura evitando que el oxígeno, nitrógeno y otros gases contaminen el cordón haciéndolo poroso y débil.

Utilizar este método nos da como resultado una buena calidad de la soldadura cuando se utiliza electrodo (alambre) ECuSi y se utiliza como gas el Argón o una mezcla de Argón y Helio; teniendo que para materiales de pequeño espesor se utiliza el argón , mientras que la mezcla de argón y helio se prefiere en aplicaciones con metal base de mediano y grueso espesor.

No se requiere un precalentamiento tal como lo muestra la tabla N ° III y se debe tener cuidado para evitar sobrecalentamiento por soldadura rápida. Un pequeño charco de soldadura debe ser mantenido progresando a razón de 8 in/min; la capa de óxido que se forma debe ser removida con un cepillo de alambre en múltiples pasadas.

El proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) Soldadura de Arco con Gas Tungsteno puede ser utilizado para soldar los Bronces al Silicio; en este proceso se utiliza un arco eléctrico para calentar y fundir el metal base; el arco se forma entre un electrodo no consumible de tungsteno o aleaciones de tungsteno (materiales de alto punto de fusión) y el material base; también se puede utilizar un metal de aporte que consiste de un alambre consumible que generalmente debe tener la misma composición que el metal base.

Se obtiene una buena calidad de soldadura utilizando electrodo consumible RCuSi - A. Se prefiere trabajar con corriente directa polaridad continua, sin embargo la corriente alterna también puede ser usada. Como podemos ver en la tabla N° III no se necesita realizar un precalentamiento y las temperaturas de interfase no deben exceder los 200 ° F. Algunas ocasiones cuando se sueldan láminas, estas son frecuentemente unidas sin una preparación de ribeteado en los bordes ni se usa una varilla de aporte por la fusión de el metal base; con un material más grueso se requiere un ángulo de 60°, al mismo tiempo que la varilla de aporte sea del diámetro apropiado.

Los bronce al silicio son también fácilmente unidos por soldadura por Resistencia ya sea soldadura de punto, tope, de costura ya que las aleaciones de cobre con baja conductividad son fácilmente soldadas por este método.

La presencia de Silicio ayuda materialmente a la soldadura por resistencia de las aleaciones de cobre.

TABLA N° III Aplicación de los procesos más usados en los Bronces al Silicio

Proceso	GMAW	GTAW
Calidad Soldadura	Buena	Buena
Material aporte	ECuSi	RCuSi - A
Precalentamiento F	No requiere	No requiere
Gas	Argón o mezcla Ar-He	Argón o mezcla Ar-He

RESISTENCIA A LA CORROSION.

En la presente tabla se muestra el comportamiento de los Bronces al Silicio en varios medios de Corrosión, los cuales se han clasificado en tres categorías.

TABLA IV. Resistencia a la Corrosión del Bronce al Silicio en diferentes medios

Medio Corrosivo	Calificación	Medio Corrosivo	Calificación
Atmósfera Industrial	A	Cerveza	A
Atmósfera Marina	A	Gas Natural	A
Atmósfera Rural	A	Gas Propano	A
Agua Potable	A	Gasolina	A
Alcohol	A	Glucosa	A
Aceite Combustible	A	Hidrógeno	A
Acido Fórmico	C	Hidróxido de Calcio	C
Acido Fosfórico	A	Jarabe Caña Azucar	A
Acido Crómico	C	Mercurio	C
Acido Nítrico	C	Nitrato de Sodio	A
Acido Muriático	C	Nitrato de Amonio	C
Acetona	A	Sulfato de Zinc	A
Cloruro de Zinc	B	Vinagre	A
Cloruro de Potasio	A	Whisky	A

* A = Recomendable

B = Aceptable

C = No recomendable

PROPIEDADES EN EL PROCESO DE FUSION

El Bronce al Silicio es considerado como una aleación difícil de fundir tal como lo muestra la tabla N° V en la que se presentan algunas de las propiedades de fusión de las principales aleaciones de cobre.

Una propiedad muy importante es el Sistema de Colado y esto depende de el rango de solidificación de la aleación por lo que tenemos que las aleaciones en base cobre son comúnmente clasificadas en tres grupos.

Grupo I: Son las aleaciones con un limitado rango de solidificación es decir un rango menor a los 50°C (90°F) esto es empezando en la línea de liquidus donde la solidificación empieza hasta la línea de solidus donde esta termina.

Específicamente dentro de este grupo se encuentran los bronce al aluminio (C95200 - C95800), los latones amarillos (C85200 - C85800), los bronce al manganeso (C86100- C86800) entre otros; el limitado rango de enfriamiento en estas aleaciones se debe a la presencia de grandes cantidades de elementos como el zinc, aluminio o manganeso; todos estos elementos son oxidantes y forman una capa insoluble de óxido.

Por lo tanto el vaciado para esta clase de aleaciones debe hacerse con mucho cuidado, rápidamente ya que estas aleaciones producen fácilmente capas de óxido y escoria si al vaciar produce turbulencias. La presencia de estos fenómenos causa una marcada deterioración de las propiedades mecánicas. El cobre puro es un caso especial, ya que este puede absorber grandes cantidades de oxígeno según las condiciones turbulentas; por lo que es necesario utilizar desoxidantes.

Grupo II: Las aleaciones del Grupo II son las que poseen un rango de solidificación intermedio o sea de $50 - 111^{\circ} \text{C}$ ($90 - 200^{\circ} \text{F}$). Las aleaciones de este grupo no forman capas de óxido considerables y se puede usar un sistema de colado un poco más turbulento, pero debe tenerse sumo cuidado por que si el sistema de vaciado es muy turbulento existe la posibilidad de que se produzca gran cantidad de escoria.

Este segundo grupo de aleaciones esta formado por los Bronces y Latones al Silicio (C87200 - C87600) y las aleaciones de cobre y níquel (C96200 - C96600) estos fenómenos se deben a la presencia de silicio, así como la presencia de plomo incrementa la tendencia para la formación de inclusiones de escoria. Del mismo modo el incremento en aleaciones de elementos como el berilio y el cromo causan grandes problemas de inclusiones de óxido.

Grupo III: Son las aleaciones con un amplio rango de solidificación que generalmente esta sobre los 111°C (200°F) y a menudo llega hasta los 167°C (300°F); esta aleaciones son específicamente los bronce al estaño donde existe una fase rica en estaño y esta el la última en solidificar.

Estas aleaciones del grupo III tienen una baja tendencia a la formación de capas de óxido y usualmente son desoxidadas con fosfuros; los residuos de fosfuros inhiben la formación de capas de óxido durante el vaciado por combinación de oxígeno libre.

Puesto que estas aleaciones son relativamente insensibles a la turbulencia,

diferentes sistemas de colado pueden ser usados.

Las aleaciones de este grupo incluyen a los latones rojos con plomo (C83600 - C84200), latones semirojos con plomo (C84400 - C84800), bronce al estaño (C90200 - C91700), bronce al estaño con plomo (C92200 - C92700).

Esta aleación tiene una tendencia al rechupe no muy alta como lo muestra la tabla N° V pero este es un fenómeno que se debe considerar y por lo tanto mencionaremos sobre este a continuación.

Rechupe:

Los rechupes son cavidades que se forman en el interior o exterior de las piezas moldeadas, y que tienen por causa la disminución de volumen que experimenta el metal o aleación colada, en el momento de su enfriamiento.

Cuando las cavidades son apreciables a simple vista y de dimensiones relativamente grandes, se le designa el nombre de macrorrechupe; tomando el nombre de microrrechupe cuando no se observa más que con la ayuda de una lupa de gran aumento o del microscopio. Produciéndose en el caso del bronce al silicio un macrorrechupe ya que las cavidades son apreciables a simple vista pero utilizando un molde metálico; cabe señalar que como esta aleación es recomendada utilizarla para molde de arena; al realizar el colado en un molde de arena el rechupe obtenido es casi imperceptible de acuerdo a la experiencia en la realización de esta tesis.

TABLA V. Propiedades de Fusión de algunas Aleaciones de Cobre

Número UNS	Nombre	Rechupe %	Diflc.Fusión *	Fluidez *
C83600	Latón rojo con Pb	5.7	2	6
C84400	Latón semirojo Pb	2	2	6
C84800	Latón semirojo Pb	1.4	2	6
C85400	Latón amarillo Pb	1.5 - 1.8	4	4
C85800	Latón amarillo	2	4	4
C86300	Bronce al Mg	2.3	6	2
C86500	Bronce al Mg	1.9	6	2
C87200	Bronce al Silicio	1.8 - 2	8	3
C87500	Latón al Silicio	1.9	7	1
C90300	Bronce al Estaño	1.5 - 1.8	3	6
C92200	Bronce Sn con Pb	1.5	3	6
C93700	Bronce Sn alto Pb	2	1	6
C94300	Bronce Sn alto Pb	1.5	1	6
C95300	Bronce al Al	1.6	8	5
C95800	Bronce al Al	1.6	8	5

* Para el colado en arena, la fluidez y dificultad de fusión en un rango de 1 a 8, donde 1 es la mejor calificación.

MAQUINABILIDAD

La maquinabilidad de las aleaciones de cobre son expresadas como un porcentaje de la maquinabilidad del latón C36000 que posee un 100% de maquinabilidad.

Siendo para el Bronce al silicio de 50% de C36000.

Las aleaciones en base cobre, se dividen en tres grupos de acuerdo a su maquinabilidad y estos son:

- Las aleaciones que se maquinan libremente debido a su alto contenido de plomo, azufre y telurio; elementos que permiten que la viruta se rompa fácilmente.
- Aleaciones que son moderadamente maquinables y que no contienen plomo, con alrededor de 60 a 85% de cobre; y las aleaciones conocidas como plata de níquel con contenido de plomo.
- Las aleaciones en base cobre que son muy difíciles de maquinar; a este grupo pertenecen las aleaciones sin plomo, latones de bajo contenido de zinc, platas de níquel, bronce forfóricos, cuproaluminios, cuproníqueles, y bronce al berilio.

Los Bronces al Silicio se encuentran en el segundo grupo o sea el de maquinabilidad moderada, razón por la cual se recomienda un correcto afilado de la herramienta de corte.

1.3 INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES.

Zinc: Para mejorar las propiedades de fundición de la aleación, se agrega a menudo un 4 o 5% de este elemento. La presencia de este evita la absorción de gases cuando la aleación se encuentra en estado de fusión, ayudando así a la obtención de piezas exentas de poros.

El zinc mejora su resistencia mecánica y maquinabilidad. Se encuentra como impureza si la aleación contiene una proporción de 1.5 de zinc, proporción que no tiene apenas influencia sobre las propiedades de las piezas fundidas.

Hierro: El hierro esta siempre presente en piezas fundidas y es considerado, por lo general una impureza de la aleación; una pequeña proporción es aceptable ya que mejora las propiedades mecánicas (resistencia y dureza) de la aleación. Sin embargo una proporción demasiado elevada de hierro, superior al 2.5%, empeora las propiedades mecánicas de la aleación, haciendo frágiles las piezas fundidas. También es añadido como refinador de grano, aunque en general el refinamiento de grano de las aleaciones de cobre no es practicado de una manera específica ya que un cierto grado de refinamiento puede ser alcanzado por medio de los procesos normales de fundición.

Estaño: Aumenta su resistencia a la corrosión, los bronce que tienen menos de 5% de este elemento, pueden estirarse y laminarse en frío.

Silicio: Las propiedades del bronce al silicio están determinadas por la proporción de silicio. Al aumentar esta proporción por encima del 10% la aleación

se torna muy quebradiza, pudiendo pulverizarse fácilmente. El silicio se emplea a veces como desoxidante, disminuye mucho la conductividad eléctrica del cobre.

Plomo: El plomo es prácticamente insoluble en el cobre a la temperatura ambiente y queda emulsionado en la masa del metal.

Hasta el 0.2% , su acción es favorable para algunas aplicaciones del cobre. Pero a partir de porcentajes de plomo de 0.2% el cobre se vuelve frágil a temperaturas superiores a 327°C que es la de fusión del plomo.

El plomo en muchas de las aleaciones de cobre, puede formar óxidos que reaccionan con agentes aglutinantes de los moldes tales como la bentonita.

Manganeso: Es usado ante todo como un constituyente de aleación para alta resistencia. También se usa para desoxidar, y no es considerado muy perjudicial como una impureza.

Aluminio: La presencia de este elemento produce el incremento de la resistencia y dureza en el bronce al silicio, y un decrecimiento en la ductilidad.

1.4 METALURGIA DEL BRONCE AL SILICIO.

El diagrama de equilibrio (Figura N° 1) muestra las fases que contiene la aleación de acuerdo al porcentaje de Silicio que contenga la misma.

Para la aleación C87200 la parte más notable es la muestra dendrítica vista dentro del grano (coring) resultando de microsegregación durante la solidificación.

La presencia de otros elementos dentro de los límites permisibles y

particularmente hierro y manganeso causan la formación de compuestos intermetálicos conteniendo silicio. Esto ocurre como finas precipitaciones dentro de los granos alfa y tienen un substancial fortalecimiento de los efectos en la aleación.

La falta de una adecuada difusión durante la solidificación, puede también causar finalmente quedarse líquido; resultando la formación de pequeñas cantidades de una segunda fase beta (β) en el límite de grano de la matriz alfa (α).

Como una cantidad significativa de Zinc es añadida en la aleación conteniendo de 1 - 5% de silicio, la presencia de la fase beta (β) es mucho mas evidente en la microestructura.

El diagrama de equilibrio de las fases indica que la fase beta, bajo los 555°C (1031°F), podrá descomponerse en la forma de alfa - delta eutéctóide.

La resistencia de estas aleaciones es aumentada por la presencia de la dura fase beta (β) aunque poseen menos ductilidad.

Estas aleaciones tienen relativamente grandes rangos de enfriamiento y por lo tanto solidifica de una manera dendrítica. La fase beta ocurre dentro de las áreas interdendríticas de la matriz alfa. Las partículas beta son frecuentemente rodeadas por estrías paralelas, extendiéndose dentro de la fase alfa (α). También la fase beta (β) algunas veces contiene partículas ricas en silicio.

El incremento de aluminio en la aleación incrementa el porcentaje de la fase

beta (β) formado con proporcionado incremento en la resistencia y dureza y decrecimiento en la ductilidad.

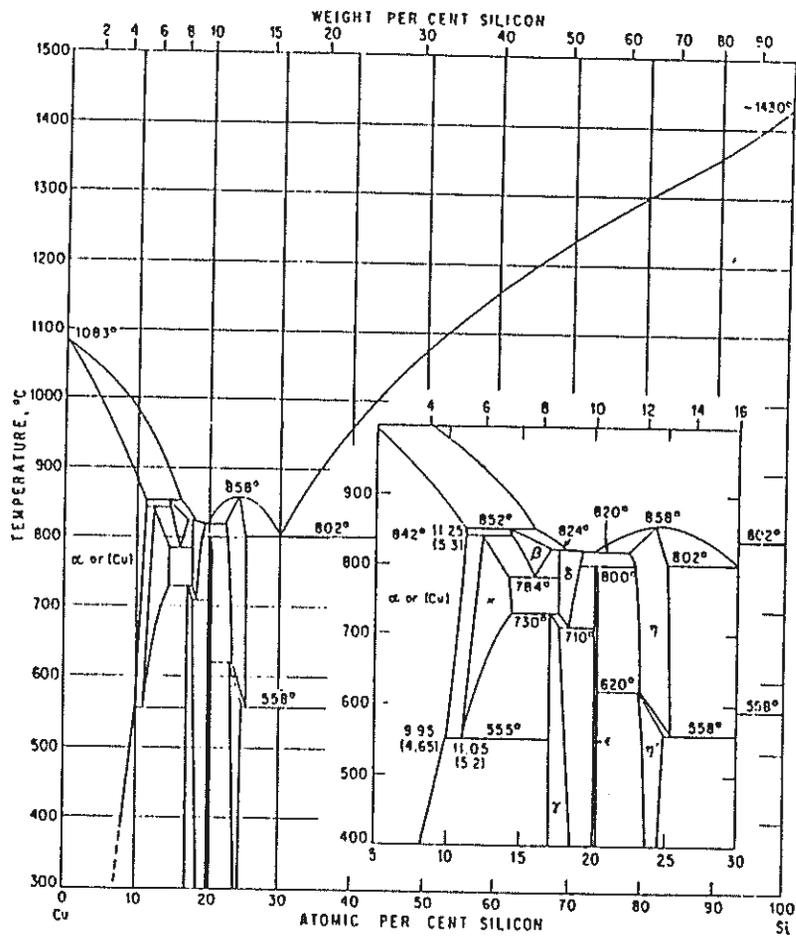


Figura N° 1. Diagrama de Equilibrio del Bronce al Silicio.

Segregación:

En las fundiciones no solamente encontramos variaciones en la composición (macrosegregación) sobre distancias grandes, si no es posible también tener variaciones de composición localizadas en una escala más pequeña que el tamaño del cristal; esto se llama Microsegregación y se ha descrito ya una forma, la segregación en composición asociada con la estructura celular resultante del movimiento combinado de la intercara líquido - sólido y una zona muy estrecha de sobreenfriamiento constitucional.

Una forma de microsegregación mucho más frecuente, conocida comúnmente como segregación dendrítica, es causada por solidificación dendrítica en aleaciones. Los brazos dendríticos originales, que se proyectan dentro del metal sobreenfriado, solidifican como metal relativamente puro. En consecuencia, el líquido que rodea a estos brazos está enriquecido en solutos y normalmente, cuando este líquido solidifica, los espacios entre los brazos se vuelven regiones de elevada concentración en soluto.

La Segregación Dendrítica (coring, en inglés), es muy común en fundiciones de aleación es generalmente fácil de detectar. Cuando se secciona una pieza fundida y se prepara la superficie para examen metalográfico, la superficie expuesta será usualmente una sección planar cortada a través del bosque de brazos dendríticos. Como la composición en el centro de un brazo difiere de la de los puntos a la mitad de los brazos, los brazos dendríticos pueden ser revelados por medio de ataque químico con algún reactivo metalográfico apropiado.

Solidificación de Lingotes:

Cuando solidifica un lingote, pueden ocurrir tres fases separadas del proceso de solidificación, desarrollando cada fase una disposición característica de tamaños y formas cristalinas. En la figura N° 2 se ilustran las estructuras básicas. En una banda estrecha que sigue al contorno del molde queda la “zona de enfriamiento rápido”, consiste en pequeños cristales de ejes iguales (tamaño igual) que de ordinario tienen orientaciones casuales. En el interior de esta zona exterior los cristales se vuelven de mayor tamaño, de forma alargada, con sus longitudes paralelas a la dirección del flujo de calor (normal a las paredes del molde). Estos granos tienen una orientación fuertemente preferente con una dirección de crecimiento dendrítico paralela a sus ejes largos. Debido a la forma de los cristales en esta zona, es costumbre llamarla “zona columnar”. La última zona queda en el centro del lingote y representa el último metal en solidificar. En esta zona los granos son nuevamente equidimensionales y de una orientación ocasional.

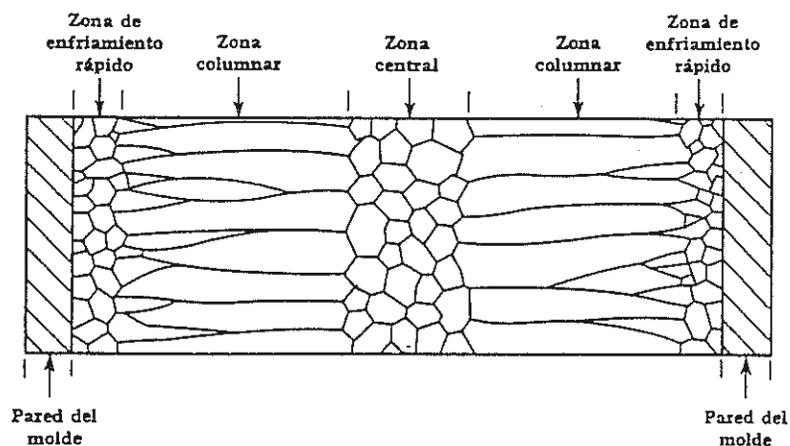


Figura N° 2 Sección a través de un lingote, y las tres zonas básicas de solidificación que se pueden hallar en una fundición.

1.5 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE FUSION.

Los Bronces al Silicio pueden ser fundidos en hornos de crisol a gas o aceite o por cualquier otro medio que permita el calentamiento rápido y el control de la atmósfera.

En este caso utilizaremos un horno de crisol que utiliza como combustible gas; pero se procurará que la atmósfera sea oxidante, esto es, con exceso de aire sobre el combustible; una llama oxidante tiene coloración verdosa con bordes amarillos con este tipo de llama se minimiza la posibilidad de absorción de gases por el metal.

Los hornos de crisol móviles o estacionarios, poseen una cubierta removible; el crisol en el interior, es transportado hacia el área de colado donde se encuentran los moldes.

Estos hornos funden la materia prima quemando gas con aire suficiente como para alcanzar la combustión completa; pero en este caso se regulará para que la atmósfera sea oxidante. El quemador calienta el crisol por conducción y convección, la carga es fundida y luego es sobrecalentada hasta la temperatura determinada. Posteriormente el crisol es removido y transportado hacia el área de vaciado.

En los hornos de crisol se recomienda mantener siempre la llama ligeramente oxidante porque la superficie expuesta es pequeña y la pérdida por oxidación es baja. El material debe permanecer el menor tiempo posible en el horno para

evitar absorción de hidrógeno, oxidación y vaporización del metal.

Se sobrecalienta algo el baño del metal, reduciéndose por la volatilización del zinc la absorción de gases.

No deben usarse fundentes, ni cubrirse el baño, tampoco hace falta agregar sustancias desoxidantes. El crisol con el metal se retirará del horno y luego debe espumarse el baño, finalmente se deja enfriar el baño hasta la temperatura de colada con preferencia al aire libre, ya que esta disposición permite el escape de los gases absorbidos y disueltos en el proceso de fusión. Durante este enfriamiento se pinchará de vez en cuando, la película superficial del baño, con una varilla.

La colada se efectuará de modo suave y a la temperatura más baja admisible; en cuanto al moldeo, esta clase de bronce tiene una contracción mayor durante la solidificación que los broncees al estaño, deben pues disponerse canales de subida un 50% mayores que los utilizados en la fundición de aquellos broncees; por otra parte hay que hacer el molde de forma que no oponga gran resistencia a la contracción, e incluso en algunos casos habrá que recurrir durante el enfriamiento a facilitar la contracción escarbando las arenas o haciendo todo lo que sea necesario para ello, y procurando además que el enfriamiento se haga lo más uniforme posible.

Para la fundición de aleaciones debe preferirse aquellos hornos donde la menor proporción de la superficie del metal sea expuesto a la atmósfera del horno.

En todo caso resultan más convenientes los hornos de inducción eléctrica; luego

los hornos de crisol calentados a gas natural; y finalmente los calentados con diesel. No son convenientes los hornos de llama abierta porque exponen demasiada superficie del material a la atmósfera del horno. Sin embargo, con la correcta utilización de fundentes y desgasificantes su uso es factible.

CARGA DEL HORNO

De la carga de los materiales en el horno dependen las pérdidas obtenidas, así como también se pueden evitar daños físicos a los operarios y a los equipos utilizados ya que el cobre en estado líquido es un serio riesgo de explosión si este entra en contacto con el agua.

Para reducir pérdidas de carga final, se debe cargar el material con la menor proporción de superficie a volumen, es decir, preferiblemente en lingotes, jamás virutas, alambres, láminas o piezas pequeñas.

El exceso de temperatura y tiempo de permanencia en el horno trae como consecuencia pérdidas de cobre por oxidación y evaporación.

No se debe introducir el metal frío en la colada, porque esto puede llevar consigo humedad, que dentro de la colada reacciona con el cobre e inmediatamente explota, arrojando el metal líquido por el aire.

La humedad también se presenta por la introducción de equipos utilizados durante el proceso de fusión como por ejemplo termómetros, campanas o agitadores, y una manera de evitar los riesgos de explosión en este caso sería precalentar el equipo a utilizar ayudando esto a reducir el tiempo de permanencia del metal en el

horno.

Aunque cargas de lingotes secundarios están dentro del rango químico especificado, puede haber pérdidas en la fundición. Las causas más comunes son formaciones de natas por reacciones con la atmósfera, material refractario, y pérdidas por vaporización de elementos de punto de ebullición bajo.

Formación de Escoria:

La formación de escoria o de nata se da en la aleación de base cobre debido a la interacción de la atmósfera y el metal; pero de todas formas se puede usar técnicas para minimizar la formación de estas como son:

- El uso de refractarios o crisoles inertes en el fundido resulta que se dé menos nata; la práctica de usar crisoles de grafito presume que el carbón en el crisol reacciona con la atmósfera en vez de el metal con la atmósfera. Pero la presencia de óxido en el grafito permite alguna formación de escoria.
- Pueden usarse cubiertas para el derretido, con el fin de excluir la atmósfera del proceso, pero los resultados no son constantes. Carbón es un ejemplo de material para cubrir el derretido, pero no puede usarse en aleaciones de cobre que tengan níquel debido a la solubilidad del carbón.

Las pérdidas del material por formación de escoria pueden minimizarse usando temperaturas más bajas, tiempos de mantenimiento en el horno más cortos, crisoles de materiales inertes y aplicación de cubiertas en el derretido.

En cuanto a los materiales a utilizar se debe usar cobre de alambre conductor pero antes de utilizarlo es necesario realizar lingotes del mismo para que este se encuentre en estado puro. El aluminio también se obtendrá de alambre conductor previamente lingoteado. El silicio y el hierro participan como ferrosilicio. El zinc, plomo, manganeso y estaño se los utilizará en forma pura .

TEMPERATURA DE LA COLADA

La temperatura de la colada, independientemente del método de fusión que se use, no debe sobrepasar demasiado de la temperatura de vaciado. Aunque la temperatura de vaciado varía con el espesor de la pieza a colar, no se recomienda pasar más allá de entre 28 a 55° C de recalentamiento sobre la temperatura de colado.

Una vez alcanzada la temperatura de vaciado la colada no debe permanecer más tiempo en el horno. Es necesario asegurarse que todos los moldes estén listos antes de empezar a fundir el metal para que no exista pérdida de tiempo en el momento de verter.

El exceso de temperatura y demasiada retención de la colada en el horno significan pérdidas de metal y mayor posibilidad de absorción de gases. Lo que da como consecuencia la incertidumbre en la composición final del material y porosidades que aparecen en el momento de maquinar las piezas.

A continuación se mostrará un diagrama del proceso de fabricación de la Aleación Bronce al Silicio; cabe indicar que es un planteamiento inicial de

como se realizará su fabricación; ya que al final se expondrá el método efectivo.

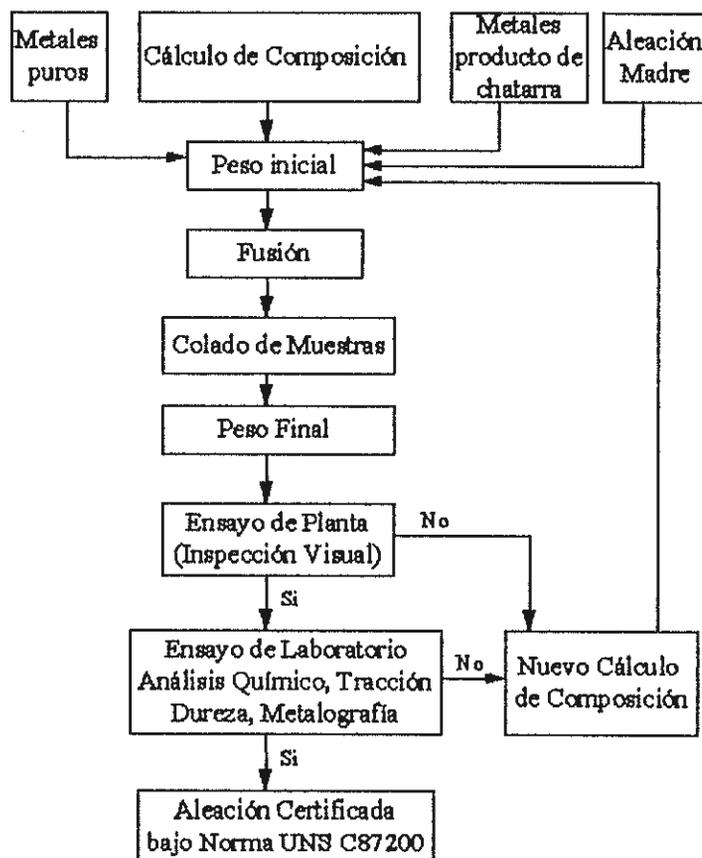


Figura N 3 Diagrama del Proceso de Fabricación de la Aleación Bronce al Silicio

1.6 CONTROL DE CALIDAD.

El termino control de calidad abarca un sinnúmero de factores que debemos considerar ya que se trata de mejorar las condiciones bajo las que estamos realizando nuestro trabajo que en este caso es la fabricación de la aleación Bronce

al Silicio para obtener resultados satisfactorios, así como también podemos incluir algunas pruebas que se deben realizar para garantizar la efectividad de los resultados.

Dentro de estos factores tenemos que se deben considerar:

- Calidad de la materia prima utilizada
- Control de las condiciones del proceso de Fusión

Calidad de la Materia Prima utilizada.

Son todos los elementos que utilizamos para la fabricación de esta aleación los cuales deben estar presentes en forma pura, por lo que fue necesario realizar primeramente lingotes de Cobre, así como de Aluminio para garantizar su pureza.

La chatarra debe ser clasificada, usando en este caso solo chatarra de alambre de cobre y de aluminio teniendo previamente que quitar el recubrimiento de plástico de estos lo cual se realiza quemándolos hasta que se derrita; en el caso del alambre de aluminio, a este se le debe retirar un alambre de acero que posee en el centro. La chatarra debe ser troceada ya que los alambres son de grandes dimensiones y no facilitan su carga en el horno.

En cuanto al resto de elementos tenemos que algunos de estos se los encuentra en el mercado en estado puro como son el Estaño, el Zinc, el Plomo, el Manganeso; elementos como el silicio y el hierro estos han sido utilizados como ferrosilicio en proporción (75 - 25 %) esto es 75% corresponde al silicio y el 25% al hierro.

Se debe considerar así mismo si existe facilidad para conseguir en el mercado

todos los elementos que vamos a necesitar, lo cual facilitaría su fabricación y posterior utilización para elaborar elementos mecánicos que ayuden a el mantenimiento de las máquinas en los que serán usados.

Control de las Condiciones del Proceso de Fusión:

Dentro de este punto se debe considerar el Control de la Atmósfera del horno ya que de esto depende la Calidad de la Aleación obtenida, lo que nos ayuda a obtener la composición química deseada.

Como ya dijimos anteriormente para fundir este tipo de bronce se necesita que la atmósfera del horno sea ligeramente oxidante ya que no siempre una llama verde es oxidante, pues si esta es larga y lenta puede ser reductora; siendo la más apropiada una llama corta y aguda con bordes ligeramente verdes; este factor se lo debe controlar para reducir el riesgo de la absorción de hidrógeno en la colada.

Para el control de la atmósfera del horno existe un método un tanto rudimentario que es la prueba del zinc; esto es colocando un pedazo de plancha de zinc en la llama por alrededor de 5 segundos; si la superficie se oscurece la atmósfera es muy reductora; si toma un color entre amarillo pajizo a gris claro la atmósfera es levemente reductora; si el color no cambia la atmósfera es oxidante.

Cabe señalar que estos métodos son imprecisos y que la forma más segura de lograr un pequeño exceso de oxígeno es mediante un controlador automático que regule la proporción aire - combustible.

Otro aspecto que se debe considerar es el Control de la Temperatura de la



colada, debido a que el sobrecalentamiento excesivo puede ocasionar pérdidas por oxidación, así como también problemas de porosidades.

En los bronce al silicio hay la presencia de hidrógeno y por lo tanto se debe considerar de que a mayor temperatura aumenta la solubilidad del hidrógeno en el cobre y puede ser necesario desgasificar si la temperatura sube demasiado aunque los bronce al silicio no necesitan de desgasificantes, ya que el zinc como se encuentra en pequeña proporción actúa como tal.

Se debe utilizar instrumentos que nos permitan controlar la temperatura; utilizando en este caso un termómetro con una termocupla, que nos permite llevar el control de la misma y evitar problemas en el momento de colar.

En cuanto a las pruebas que se deben realizar para el control de la colada tenemos que en la fabricación del bronce al silicio realizamos un Ensayo de Planta en el cual se relizaron en forma visual el control de los siguientes parámetros:

- Gases en el horno
- Agitación del metal en el crisol
- Rechupe de la probeta
- Tamaño de grano de la Probeta fracturada
- Tiempo
- Temperatura del metal.

1.7 APLICACIONES EN LA INGENIERIA.

Las aplicaciones típicas para esta composición del Bronce al Silicio son:

- Engranajes
- Partes de válvulas
- Impellers
- Rodamientos
- Bombas
- Construcciones marinas
- Motores
- Recipientes de presión
- Conductos hidráulicos sujetos a presión
- Arte en fundiciones
- Esculturas.

Los bronce al Silicio tienen un amplio intervalo de aplicaciones para piezas fundidas en arena a causa de su alta resistencia mecánica y la acción corrosiva de muchas soluciones químicas.

CAPITULO II TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVO Y TECNICA EXPERIMENTAL

El objetivo de este trabajo es buscar una técnica de fabricación de la aleación Bronce al Silicio que nos permita obtener las propiedades que establece la Norma Americana UNS C87200 (SAE J462) utilizando los equipos existentes en el taller Mecánico de la Facultad de Ingeniería en Mecánica de la ESPOL; realizando algunas de las pruebas en el instante mismo de su fabricación y realizando luego las pruebas en los laboratorios, que garanticen la eficacia de los resultados. Cabe resaltar que los equipos utilizados no son sofisticados, por cuanto hay la necesidad de adaptarse a los mismos y comprobar que también se puede obtener sin estos, resultados satisfactorios que ayuden a la Industria de la Fundición a salir adelante y descubrir nuevos materiales.

En lo que respecta a la Técnica Experimental primeramente debemos considerar la materia prima que vamos a utilizar ya que todos los elementos deben estar en estado puro, razón por la cual como utilizaremos cobre y aluminio que proviene de alambre conductor realizamos ya un proceso de fusión de estos para obtener barras de estos elementos y garantizar de esta forma su pureza; la forma de obtener estos es como lo indica la figura N° 4 .

Los demás elementos tales como el estaño, zinc, plomo, manganeso se encuentran en el mercado en estado puro; mientras que el hierro y el silicio estarán presentes en forma de ferrosilicio.

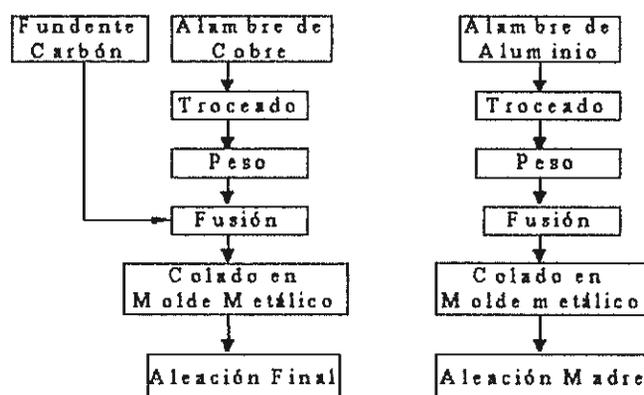


Figura N 4 Obtención de Cobre y Aluminio a partir de Chatarra

La técnica experimental se dividirá en tres etapas que son:

- Elaboración de aleación madre
- Elaboración de aleación final
- Pruebas:

(Ensayos de Planta ; Ensayos de Laboratorio).

Para empezar con este paso debemos considerar la composición química que establece la norma y que esta presentada en la tabla N° I , y como podemos darnos cuenta su suma total nos da un valor superior al 100%, razón por la cual, realicé un ajuste para poder trabajar con un porcentaje de aproximadamente 100%; considerando los valores máximos y mínimos que establece la norma; estos resultados se muestran en la tabla que a continuación se presenta; siendo estos los valores que tomaremos para realizar las diferentes aleaciones madre y la aleación



final.

TABLA VI Ajuste de la Composición Química de la Aleación Bronce al Silicio

Elemento	Composición (%)
Cobre	89
Silicio	4
Zinc	3
Hierro	1.3
Aluminio	1
Manganeso	1
Estaño	0.7
Plomo	0.3

Elaboración de Aleación Madre (1):

Realizando un análisis de los elementos aleantes, vemos que es necesario realizar una aleación madre con la finalidad de que la temperatura de fusión resultante sea razonablemente baja, las licuaciones mínimas y la estabilidad suficiente como para alearse y formar la aleación final.

Los elementos que conforman la aleación madre son: Zinc, Aluminio, Estaño, y Plomo.

La metodología a seguir para su elaboración se muestra en el diagrama de

bloque.

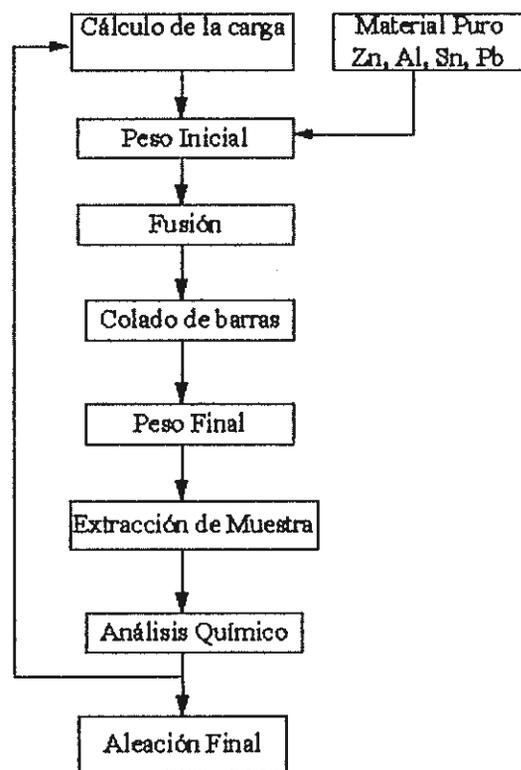


Figura N 5 Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb.

De acuerdo al diagrama de bloque empezamos desde el cálculo de la carga esto es teniendo en cuenta la composición de la aleación final, de lo que se encontró que la aleación madre debe tener una composición de:

Tabla N° VII Composición de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb

Elemento Aleante	Composición (%)
Zinc	60
Aluminio	20
Estaño	14
Plomo	6

Luego se pesaron cada uno de los elementos para proceder a la fundición y su posterior colado en lingoteras de acero. Se pesó también la cantidad final obtenida para calcular las pérdidas existentes; de este se extrajo una muestra de 5 gramos utilizando una broca de 1/4.

La muestra obtenida fue llevada al Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL para realizarle el análisis químico utilizando el Equipo de Absorción Atómica y verificar que esta puede pasar a formar parte de los elementos aleantes.

Debido a que realizando las pruebas se comprobó que la aleación madre antes planificada no presento resultados favorables, se decidió realizar otra aleación madre que contendrá como elementos aleantes al cobre, zinc, y aluminio.

Elaboración de Aleación Madre (2) :

Como no obtuvimos resultados favorables en la realización de la primera

aleación se decidió realizar una segunda aleación en la que participan los siguientes elementos: Cobre, Zinc y Aluminio.

La metodología a seguir, se muestra en el siguiente diagrama .

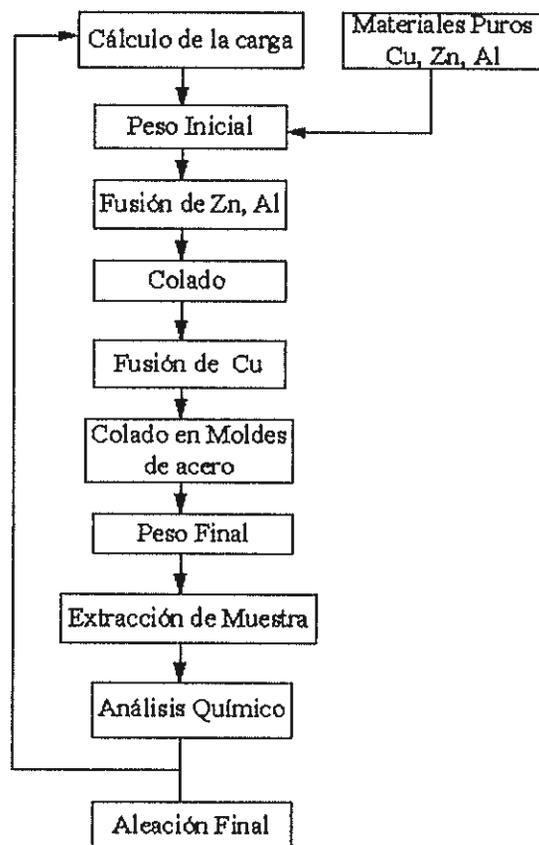


Figura N 6 Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Cu, Zn, Al.

La nueva composición de esta será:

Tabla N° VIII Composición de la Aleación Madre Cu, Zn, Al

Elemento Aleante	Composición (%)
Cobre	95.7
Zinc	3.2
Aluminio	1.1

Luego se peso cada uno de los elementos aleantes para proceder a la fundición y su posterior colado en lingoteras de acero. Se peso también la cantidad final obtenida para calcular las pérdidas existentes, y de esto se extrajo una muestra para realizar el análisis químico y verificar que puede pasar a formar parte de la aleación final.

Elaboración de Aleación Madre (3):

Al comprobar que la aleación madre (2) no presento resultados favorables se decidió realizar una tercera en la que los elementos aleantes presentes son: Aluminio, Estaño y Plomo; se consideró a estos elementos porque ya se tiene una referencia de como reaccionan, ya que formaron parte de la primera aleación madre que se fabricó en la que no se obtuvieron resultados favorables.

Para su elaboración se procedió a seguir los pasos establecidos en el diagrama de bloque que se muestra a continuación.

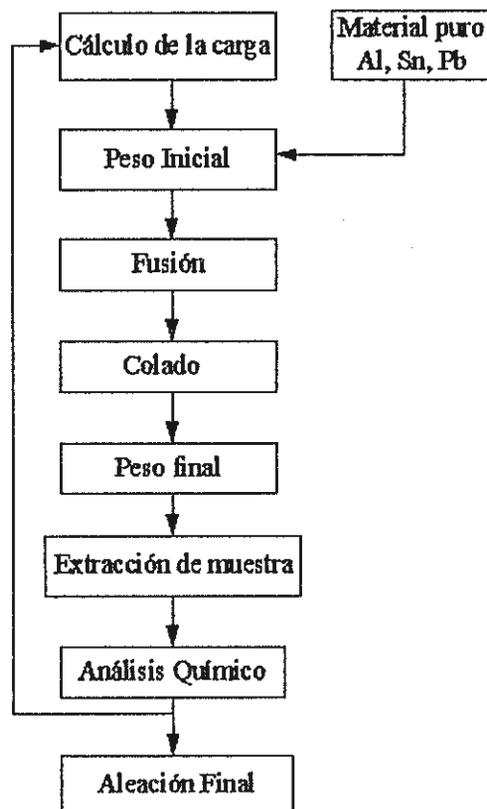


Figura N 7 Diagrama de Elaboración de la Aleación Madre Al, Sn, Pb

Después de haber calculado su composición, la misma que se muestra en la tabla IX se procedió a pesar los elementos aleantes para luego realizar su fusión y finalmente colar en un molde de arena con la finalidad de obtener un lingote pequeño de esta aleación para poderla ingresar en el horno en el momento de la fusión de la aleación final; como los resultados fueron favorables, esta pasará a formar parte de la aleación final.

Tabla N° IX Composición de la Aleación Madre Al, Sn, Pb

Elemento Aleante	Composición (%)
Aluminio	50
Estaño	35
Plomo	15

Elaboración de la Aleación Final :

Una vez obtenida la aleación madre y el cobre puro en barras de acuerdo al diagrama de bloque presentado en la figura N° 3 primeramente pesamos los elementos aleantes para lo cual es necesario trocear las barras de cobre; el ferrosilicio también necesita ser troceado, al zinc fue necesario fundirlo en pequeños moldes de arena con la finalidad de que puedan ser ingresados por medio de una campana de grafito que se va a utilizar en el momento de la fusión.

Luego de pesar las cantidades requeridas, procedemos a fundir, siendo este paso de vital importancia ya que de esto depende el éxito de las muestras obtenidas posteriormente se coló en moldes metálicos tanto para realizar el ensayo de planta, para lo cual se utiliza una probeta pequeña, así como también se utilizó un molde metálico para obtener probetas más grandes para poderlas utilizar para los ensayos de laboratorio como son ensayo de tracción, dureza, metalografía, análisis químico

Si todas las pruebas antes mencionadas cumplen la norma en la que me he basado, el método de fabricación que se ha escogido será el apropiado para obtener

la aleación Bronce al Silicio, caso contrario se volverá a calcular la composición para fundir nuevamente tratando de volver a utilizar los elementos que han quedado para comprobar si estos pueden volver a ser utilizados.

2.2 MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO.

La materia prima utilizada para la fabricación de la aleación Bronce al Silicio es:

- Cobre de conductor eléctrico
- Aluminio de conductor eléctrico
- Estaño puro
- Zinc puro
- Plomo puro
- Ferrosilicio
- Manganeso puro

Para la limpieza del cobre y la fusión de la aleación final se utilizó:

- Carbón vegetal
- Vidrio

Para la fusión se utilizó:

- Horno de crisol que usa como combustible gas propano (Figura ° 8)
- Crisol de grafito (Figura N° 9)
- Papel de Cobre para envolver los materiales
- Tenazas de acero

- Sujetador del crisol para verter
- Moldes de acero (Figura N ° 10)
- Agitador de acero
- Moldes de arena
- Termómetro digital
- Guantes
- Delantal de cuero y casco protector con visor
- Soplador de 2 pulgadas de descarga
- Desescoriador

Para pesar cada uno de los elementos aleantes se uso:

- Balanza de 20 Kg de capacidad
- Balanza de 5 Kg de capacidad

Para el ensayo Metalográfico se uso:

- Máquina pulidora de disco rotatorio
- Mesas para el pulido intermedio
- Microscopio metalográfico
- Pasta abrasiva de aluminio
- Lijas: 180, 280, 360, 500, 600
- Reactivo : - Acido Crómico
 - Acido Clorhídrico
- Secadora Manual

Para medir dureza se utilizó:

- Durómetro Brinell con una carga de 500 Kg

Para el análisis químico se usó :

- Equipo de Absorción Atómica
- Agua destilada
- Acido Nítrico
- Acido Perclórico
- Acido Sulfúrico
- Taladro para extraer la muestra.

Para el ensayo de tracción se utilizó:

- Máquina de Ensayo de Tracción
- Graficador
- Torno para preparar las probetas
- Sierra manual.



Figura N° 8 Horno de Crisol que utiliza como combustible gas propano.



Figura N° 9 Crisol de Grafito

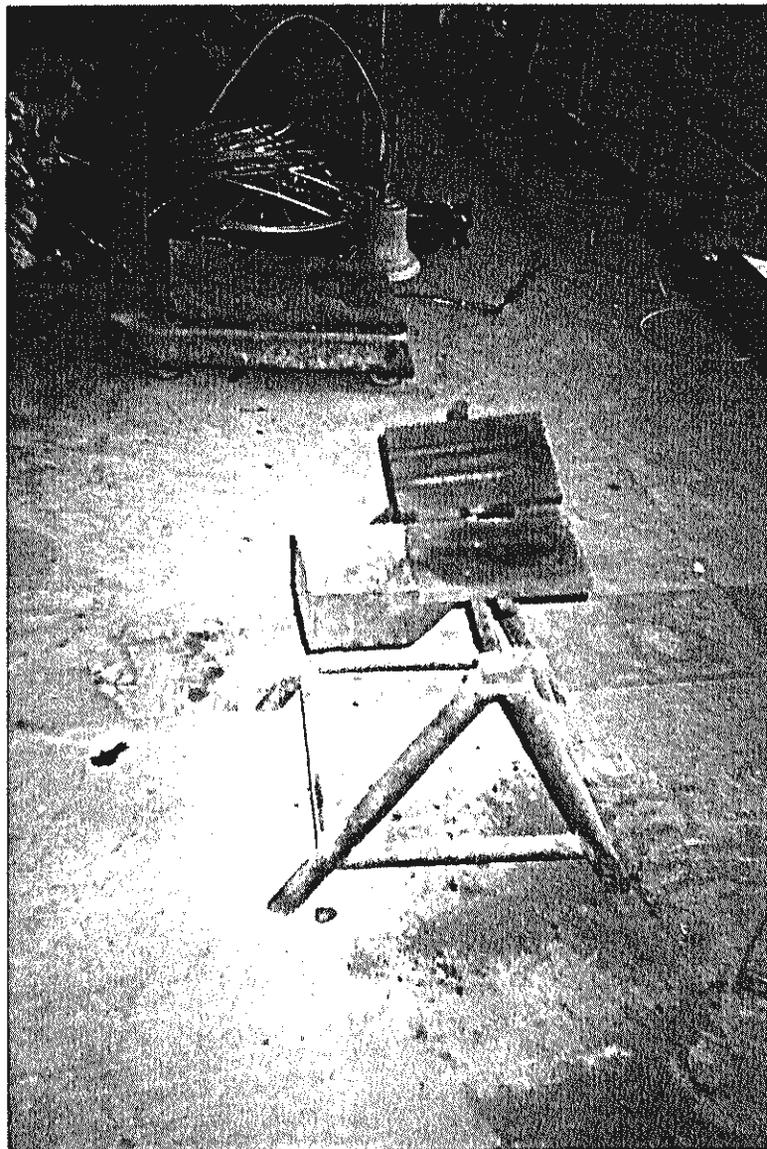


Figura N° 10 Moldes de Acero

2.3 OBTENCION DE MUESTRAS

Elaboración de la Aleación Madre (1) Zn, Al, Sn, Pb:

Primeramente elaboramos la aleación madre (1); para lo cual nos basamos en la figura N° 5 que muestra el diagrama de elaboración de la misma, y en la composición que se encuentra en la tabla N° VII.

Se comenzó realizando el cálculo de la carga esto es tomando en cuenta la composición que ya anteriormente fue calculada y considerando así mismo las pérdidas que se puedan ocasionar por diferentes factores en el momento de la fusión; estos resultados constan en la tabla N° X .

El Cálculo de la composición se realizó de la siguiente manera:

- Dada la composición:

Zn -----	60
Al -----	20
Sn -----	14
Pb -----	6

	100

- Su suma total nos da un valor de 100, a lo que diremos que esos serían los pesos cargados si deseamos preparar 100g de aleación, pero como deseamos preparar 1 Kilogramo los pesos cargados serían:

Zn -----	600 g
Al -----	200 g
Sn -----	140 g
Pb -----	60 g

	1000 g

- Pero como se aumentará un 15% al peso del Estaño, un 15% al peso del plomo, un 20% al peso del zinc y un 20% al peso del Aluminio, como ya dijimos anteriormente para prevenir posibles pérdidas; procedemos a realizar el cálculo:

$$\text{Zn ----- } 600\text{g} + 20\% = 720 \text{ g}$$

$$\text{Al ----- } 200\text{g} + 20\% = 240 \text{ g}$$

$$\text{Sn ----- } 140\text{g} + 15\% = 161 \text{ g}$$

$$\text{Pb ----- } 60\text{g} + 15\% = 69 \text{ g};$$

Siendo estos los pesos que cargaremos para fundir y se procedió a pesar los mismos:

TABLA X Composición cargada de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb

Elemento	Comp. requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Zinc	60	60.5	720
Aluminio	20	20.2	240
Estaño	14	13.5	161
Plomo	7	5.8	69

El peso total cargado para la fusión fue de 1190 gramos, y la técnica de fusión fué la siguiente:

- Se colocaron primero las barras de aluminio en el crisol, se tapó el horno,
- Se prendió el horno tratando de establecer la llama, y se dejó que este alcanzara su punto de fusión ;
- Una vez que se alcanzó el mismo, se procedió a apagar el horno para que la temperatura disminuya;
- Habiendo disminuido la temperatura hasta 600°C , se adicionó el estaño, plomo y el zinc respectivamente; no se adicionó ningún tipo de fundente porque se trabajó con temperaturas bajas ya que la máxima temperatura alcanzada fue la de fusión del aluminio que es de 660°C ; se batió la colada;
- Se procedió a colar en un molde metálico que fue previamente preparado durante la fusión; esto es calentándolo para evitar salpicaduras y pérdidas del material por la humedad presente en el molde.
- Se pesó el material obtenido para calcular las pérdidas.
- Se extrajo una muestra de 5 gramos con el taladro utilizando una broca de 1/4;
- La muestra fue llevada al Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL para realizar el análisis químico.

Los resultados del análisis químico y pérdidas son expuestos en la tabla N° XI. El resultado de la pérdida total obtenida durante la fusión, y colado consta en la tabla N° XII.

TABLA XI Resultado del Análisis Químico de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb

Primera Técnica

Elemento	Comp. Obtenida (%)	Pérdidas (%)
Zinc	63.8	
Aluminio	20	1
Estaño	8.7	35.5
Plomo	4.3	25.9

* Por Análisis Químico

TABLA XII Pérdida total en peso de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb

Primera Técnica

Peso Total Cargado (gramos)	Peso Total Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
1190	1151.9	3.2

Esta aleación no se consideró como un resultado favorable, aunque se hubiera podido aumentar estaño y plomo a la aleación final; pero estos elementos tienen un punto de fusión sumamente bajo y se corre el riesgo de que al aumentarlos en la aleación final en forma pura, estos se pierdan por el elevado punto de fusión de la misma.

Como los resultados no fueron satisfactorios ya que se obtuvieron pérdidas

significativas de estaño y plomo se analizaron las posibles causas, considerando que una de ellas podía ser que el estaño que se adicionó no haya sido puro, razón por la cual se realizó un análisis de su pureza en el laboratorio del Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL, cuyo resultado fue el siguiente.

TABLA XIII Pureza del Estaño

Elemento	Pureza (%)
Estaño	99.43

Una vez obtenido este resultado analicé que la causa de que los resultados no sean satisfactorios fue por que no se batió correctamente la colada antes de colar. Debido a esto se consideró cambiar la técnica de fusión ya que de esto se trata; osea de buscar una manera efectiva de alear los elementos sin tener que aumentar más material, pues esto aumentaría el precio de la misma ya que uno de los elementos más costosos en este caso es el estaño; además hubo una pérdida de 3.2% y esta debe ser la menor posible.

Se realizó nuevamente la aleación madre utilizando materia prima pura pero ahora se realizó primero barras de zinc puro y se cambió la técnica de fusión, los pesos cargados fueron prácticamente los mismos; osea no se adicionó mas material de ninguno de los elementos aleantes.

Segunda Técnica de Fusión de la Aleación Zn, Al, Sn, Pb:

La técnica de fusión seguida fue la siguiente:

- Se colocaron las barras de zinc en el crisol
- Se prendió el horno
- Se adicionó el aluminio antes de que el zinc se fundiera totalmente
- Luego se agregó el plomo y el estaño
- Se batió la colada varias veces con la finalidad de que los elementos aleantes se mezclen correctamente; no se adicionó ningún tipo de fundente
- Posteriormente se coló en el molde de hierro previamente calentado
- Se peso el material obtenido para calcular las pérdidas
- Se extrajo una muestra de 5 gramos con el taladro, para llevar dicha muestra al laboratorio de Ciencias Químicas para realizarle el análisis químico.

Cabe señalar que en el momento que se realizó el análisis Químico, la muestra reaccionó con el agua destilada significando esto que la misma tiene segregaciones (escoria) lo cual hace que esta reaccione al tener contacto con el agua; esta puede ser una causa para que los resultados no sean satisfactorios tal como lo muestra la tabla N° XIV, en la que constan el resultado del Análisis químico y las pérdidas.

TABLA XIV Resultado del Análisis Químico de la aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb.

Segunda Técnica

Elemento	Comp. Obtenida (%) *	Pérdidas (%)
Zinc	54.6	9.8
Aluminio	22	
Estaño	8.6	36.3
Plomo	4.5	22.4

* Por Análisis Químico

TABLA XV Pérdida total en Peso de la Aleación Madre Zn, Al, Sn, Pb

Segunda Técnica.

Peso Total Cargado (gramos)	Peso total Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
1190	1067	10.3

Luego de aplicar dos técnicas de fusión para realizar la misma aleación madre y debido a que en la primera fundición las pérdidas de estaño y de plomo fueron en una magnitud considerable; mientras que para la segunda fundición a más de estaño y plomo también hubo pérdida de zinc debido a que se sobrepasó los 700° C (temperatura en la que vaporiza el zinc); es decir en ambas fundiciones de esta aleación madre las pérdidas tanto de estaño como de plomo son aproximadamente

las mismas y por ser la pérdida en peso más elevada que en la primera técnica, se decidió buscar otra forma de alear parte de los elementos que conforman la nueva aleación y para esto se consideró al Cobre, zinc y el aluminio.

Elaboración de la Aleación Madre (2) Cu, Zn, Al.

Primeramente realizamos el cálculo de carga considerando la composición ya establecida y las posibles pérdidas que se pueden presentar durante el proceso de fundición; tal como lo muestra la figura N° 6 estos valores constan en la tabla N° XVI. Luego se pesó cada uno de los elementos aleantes.

El Cálculo de la carga se realizó así:

Teniendo que su composición da una suma total de 100, esto equivaldría a preparar 100 gramos de aleación madre; pero como queremos preparar 4 Kilogramos y aumentarle un 5% al peso del cobre, un 18% al peso del Zn y un 12% al peso del aluminio, tenemos que:

	Para 100 gramos	Para 4000 gramos	Más el Porcentaje
Cobre	95.7 g	3828 g + 5% =	4019.4 g
Zinc	3.2 g	128 g + 18% =	151.2 g
Aluminio	1.1 g	44 g + 12% =	49.3 g
	-----	-----	-----
	100.0 g	4000 g	4220.0 g

TABLA XVI Composición Cargada de la Aleación Madre Cu, Zn, Al

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Cobre	95.7	95.2	4019.4
Zinc	3.2	3.6	151.2
Aluminio	1.1	1.2	49.3

El peso total cargado para la fusión fue de 4220 gramos y la técnica de fusión seguida fue como se describe posteriormente:

- Se cargó el cobre en el crisol,
- Se prendió el horno procurando estabilizar la llama
- Mientras se esperaba que el cobre se fundiera, para lo cual se debe esperar por lo menos 40 minutos; se preparó otra aleación madre de Aluminio y zinc; esta aleación fue elaborada en un vaso de grafito que se colocó en la tapa del horno para que se caliente y proceder primeramente a colocar el aluminio hasta que este alcance su punto de fusión; una vez alcanzado este se lo retiró del horno y se esperó a que la temperatura descienda hasta los 650° C, para adicionarle el zinc, una vez puesto este se batió la colada y se coló en un molde de arena para obtener probetas pequeñas para poder colocarlas en el horno.
- Cuando el cobre se encontraba en estado pastoso se adicionó la aleación madre; resultando que después de unos instantes se obtuvo gases en el horno, lo que nos indica que hemos tenido una pérdida de zinc;

- Luego se procedió a colar en lingoteras de acero previamente calentadas.
- Una vez obtenida la aleación madre se procedió a pesarla para calcular las pérdidas, obteniéndose los resultados que constan en la tabla N° XVII.

TABLA XVII Pérdida total en peso de la Aleación Cu, Zn, Al.

Primera Técnica

Peso Total Cargado (gramos)	Peso Total Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
4220	1375.7	67.4

Como podemos darnos cuenta se ha obtenido una pérdida considerable en peso razón por la cual no se realizó el análisis químico.

Al analizar porqué se obtuvo esta pérdida, tenemos que estas son debido a que la aleación madre de zinc y aluminio fue colocada en el crisol cuando el cobre estaba en estado pastoso, lo cual provocó que la misma se quedara en la superficie de la colada, lo que dio lugar a que se quemara todo el zinc y se pierda gran cantidad en peso de aleación madre.

No se realizó análisis químico, pero como existe la presencia de el cobre que es el elemento que en mayor proporción participa en la aleación madre y en la aleación final; se consideró que era conveniente realizar un ensayo de planta (ensayo visual) para ir descubriendo como reaccionan estos elementos al alearse y los resultados del ensayo son; que la aleación obtenida tiene:

- Tendencia al rechupe

- Colabilidad baja
- Escoria espumante
- Módulo de elasticidad bajo
- Presencia de una capa de óxido.

A pesar de estos resultados cabe destacar que si hubo aleación de los elementos pero hubo una falla en la técnica de fusión; razón por la cual se decidió realizarla nuevamente; pero cambiando la técnica de fusión.

Segunda Técnica de Fusión:

Para la segunda técnica de fusión, se utilizó la misma cantidad en peso de los elementos aleantes (indicado en la Tabla N° XVI) y la técnica de fusión fue la siguiente:

- Se colocó el cobre en el crisol
- Se prendió el horno, esperando hasta que este se alcance su punto de fusión, lo que no se realizó en la primera técnica.
- Se preparó en forma separada la aleación madre de zinc y aluminio como se indicó en la primera técnica de fusión.
- Una vez que el cobre alcanzo su punto de fusión se procedió a colocar la aleación madre pero esta vez se utilizó una campana de grafito, con la finalidad de que la aleación madre llegue hasta el fondo del crisol y evitar así que el zinc se quemara; pero nuevamente se obtuvo gases en el horno, lo que nos indica de antemano que vamos a obtener pérdidas en peso.

- Luego se coló en un molde de acero
- Se procedió a pesar el material obtenido para calcular las pérdidas obtenidas, lo que se muestra en la siguiente tabla.

TABLA XVIII Pérdida total en peso de la Aleación Madre Cu, Zn, Al

Segunda Técnica.

Peso total Cargado (gramos)	Peso total obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
4220	2261.9	46.4

De acuerdo a los resultados podemos observar que existe gran cantidad de pérdidas en peso, aunque en menor cantidad que en la primera técnica de fusión; razón por la cual no se realizó el análisis químico, pero se realizó un ensayo de planta (ensayo visual) en el que pudimos observar que:

- El cobre no logro alearse con los otros elementos presentes en la aleación madre, por lo que la aleación tiene básicamente cobre, es decir se perdió la aleación madre de zinc y aluminio.
- Existe en la superficie de las barras obtenidas óxido de cobre.

Una vez analizadas las cuatro fundiciones anteriores, se tomo la decisión de realizar otra aleación madre, cuyos elementos aleantes que la conformen serán: el Aluminio, el Estaño y el Plomo; considerando de las experiencias pasadas que el zinc ha sido uno de los elementos que más problemas causa en el momento de la fusión.

Elaboración de la Aleación Madre (3) Al, Sn, Pb:

Se calculó primeramente la carga teniendo en cuenta su composición y las posibles pérdidas que pueden ocurrir en el momento de la fusión y colado , estos resultados constan en la tabla N° XIX. Luego se procedió a pesar cada uno de los elementos tal como lo muestra el diagrama mostrado en la figura N° 7.

El cálculo de la Carga se realizó de la siguiente forma:

Siendo la suma total de la composición 100, esto equivale a preparar 100 gramos de aleación, pero como deseamos preparar 500 gramos y se le va aumentar un 5% al peso del Aluminio, un 10% al peso del estaño y un 10% al peso del plomo, tenemos que:

	Para 100 gramos	Para 500 gramos	Más el Porcentaje
Aluminio	50 g	250 g + 5% =	262.5 g
Estaño	35 g	175 g + 10% =	192.5 g
Plomo	15 g	75 g + 10% =	82.5 g
	<u>100 g</u>	<u>500 g</u>	<u>537.5 g</u>

TABLA XIX Composición cargada para elaborar la Aleación Madre Al, Sn, Pb.

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Aluminio	50	48.9	262.5
Estaño	35	35.8	192.5
Plomo	15	15.3	82.5

La técnica de fusión utilizada es la siguiente:

- Se colocó el Aluminio en el crisol,
- Se prendió el horno, tratando de estabilizar la llama,
- Se esperó hasta que el aluminio alcance su punto de fusión, y una vez que lo alcanzó se lo retiró del horno para que la temperatura baje,
- Cuando la temperatura bajó hasta los 650°C , se procedió a colocar el estaño y el plomo,
- Se batió la colada para obtener una mezcla homogénea
- Se coló en un molde de arena, para obtener probetas pequeñas que puedan ser ingresadas al horno con facilidad,
- Se pesó el material obtenido para calcular las pérdidas en peso que podamos tener
- Se extrajo una muestra para realizar el análisis químico en el Instituto de Ciencias químicas de la ESPOL.

Los resultados de la pérdida en peso y del análisis químico se muestran en las tablas N° XX y XXI.

TABLA XX Pérdida total en peso de la Aleación Madre Al, Sn, Pb.

Peso Total Cargado (gramos)	Peso Total obtenido (gramos)	Pérdida (%)
537.5	532.1	1

TABLA XXI Resultados del Análisis Químico de la Aleación Madre Al, Sn, Pb

Elemento	Comp. Obtenida (%) *	Pérdidas (%)
Aluminio	49.3	
Estaño	34.7	3
Plomo	15	2

* Por Análisis Químico

La aleación madre obtenida tiene un peso total de 532.1 gramos siendo los pesos de los elementos con los que podemos contar los siguientes:

En 532.1 gramos de Aleación madre Al, Sn, Pb tenemos:

- Al = 259.8 g
 - Sn = 190.6 g
 - Pb = 81.7 g
- 523.1 g

Como los resultados obtenidos son favorables, es decir tienen la composición química requerida, y la pérdida en peso es relativamente baja; esta aleación Madre puede pasar a formar parte de la aleación final.

Una vez obtenida la aleación madre con la que ya podemos trabajar, procedemos a realizar la aleación final, para lo cual primeramente debemos tener preparado todo el material a utilizar, así como se debe preparar el lugar de trabajo ya que hay que procurar que el tiempo de fusión sea el mínimo posible.

Elaboración de la Aleación Final (Lote 1) :

Para su elaboración primeramente realizamos el cálculo de Composición de la carga ; basándonos en la tabla N° VI que muestra el Ajuste de la Composición Química con la que vamos a trabajar; nos guiamos en la figura N° 3.

Al realizar el Cálculo de la carga se decidió aumentar un porcentaje a cada elemento por las posibles pérdidas que se puedan ocasionar en el momento de el proceso de fusión y colado; el porcentaje que se aumentó fue: al cobre un 4%, al silicio un 4%, al manganeso un 3%, al hierro un 4%, al zinc un 8% y a la aleación madre un 5%; siendo la cantidad total que se va a fabricar de 5.5 Kilogramos.

El cálculo de la carga lo realizamos de la siguiente manera:

Siendo la suma total de la composición igual a 100.3 , esto equivaldría a preparar 100.3 gramos de aleación; pero lo que queremos preparar 5500 gramos y le vamos a aumentar el porcentaje antes mencionado y tenemos que:

	Para 100 gramos	Para 5500 gramos	Más el porcentaje
Cobre	89.0 g	4895.0 g + 4% =	5090.8 g
Silicio	4.0 g	220.0 g + 4% =	228.8 g
Zinc	3.0 g	165.0 g + 8% =	178.2 g
Hierro	1.3 g	71.5 g + 4% =	74.4 g
Manganeso	1.0 g	55.0 g + 3% =	56.7 g
Aluminio	1.0 g	55.0 g + 5% =	57.8 g
Estaffio	0.7 g	38.5 g + 5% =	40.4 g
Plomo	0.3 g	16.5 g + 5% =	17.3 g
	----- 100.3 g	----- 5516.5 g	----- 5744.4 g

Teniendo que para la aleación madre se sumo lo que correspondía para fabricar la aleación final y se le aumento un 5%, lo que equivale al peso luego de haberle aumentado el 5% individualmente; osea:

$$\text{Aleación madre} = 55\text{g} + 38.5\text{g} + 16.5\text{g} = 110\text{g} + 5\% = 115.5\text{g}$$

Los pesos cargados así como la composición cargada se muestran en la Tabla que se detalla a continuación y el peso total cargado fue 5744.4 gramos.

TABLA XXII Composición cargada para fabricar la Aleación Bronce al Silicio

Lote 1

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Cobre	89	88.6	5090.8
Silicio	4	4	228.8
Zinc	3	3.1	178.2
Hierro	1.3	1.3	74.4
Manganeso	1	1	56.7
Aluminio	1	1	57.8
Estaño	0.7	0.7	40.4
Plomo	0.3	0.3	17.3

El siguiente paso fue la fusión para lo cual se siguió la siguiente técnica:

- Se colocó el cobre en el crisol , así como también trozos de vidrio y carbón
- Se prendió el horno tratando de estabilizar la llama hasta obtener una

ligeramente oxidante.

- Se colocó los materiales en la tapa del horno para quitarles la humedad,
- Se esperó hasta que el cobre se encuentre en estado pastoso, esto es un momento antes de que alcance su punto de fusión.
- Se controló la temperatura para no sobrepasar los 1100 ° C,
- Una vez alcanzado el estado pastoso, le agregamos el ferrosilicio, poco a poco, esto es repartido en varias cantidades, para lo que se utilizó papel periódico
- Luego le agregamos el manganeso puro también envuelto en papel periódico
- A continuación la aleación madre Al, Sn, Pb,
- Por último le agregamos el zinc utilizando la campana de grafito previamente calentada para evitar pérdidas.
- Se batió la colada varias veces para obtener resultados favorables,
- Luego se procedió a colar en moldes de hierro previamente calentados, así como en un molde metálico pequeño para realizar el ensayo de planta.
- Se pesó la aleación final obtenida para calcular las pérdidas en peso que obtuvimos,
- Luego se procedió a realizar el ensayo de planta, cuyos resultados se muestran en la siguiente sección.
- Se extrajo una muestra para realizar el Análisis Químico en el Instituto de Ciencias químicas de la ESPOL y verificar que los porcentajes obtenidos estén dentro del rango que indica la Norma.

Como el ensayo de planta no dio resultados favorables se tomó la decisión de agregarle a la aleación obtenida un 5 y 10% de cobre, para lo cual se procedió de

la siguiente forma:

- Se pesaron 1000 gramos de la Aleación obtenida y se saco el peso del cobre en esta cantidad de aleación; se le agregó un 5 y 10%, esto se hizo individualmente, es decir que para aumentar 5% utilicé 1000 gramos y para aumentar el 10% otros 1000 más.

Cobre ----- $886 \text{ g} + 5\% = 930.3\text{g}$ osea en la refusión se le debe aumentar 44.3 gramos de cobre sin alear.

Cobre ---- $886\text{g} + 10\% = 974.6\text{g}$ osea que para la refusión debemos aumentar 88.6 gramos de cobre sin alear.

A continuación se muestra las composiciones cargadas habiendo aumentado un 5 y 10% de Cobre.

TABLA XXIII Composición cargada para refusión lote 1 con un 5% más de Cobre

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Cobre	89	89.1	930.3
Silicio	4	3.8	39.8
Zinc	3	3	31
Hierro	1.3	1.2	12.9
Manganeso	1	0.9	9.8
Aluminio	1	1	10
Estaño	0.7	0.7	7
Plomo	0.3	0.3	3

Para el proceso de fusión:

- Se colocó en el crisol la aleación (1000 gramos) y se espero hasta que la el material se caliente un poco, calentando así mismo los 44.3 g de cobre en la tapa del horno,
- Se coloco el cobre ya caliente en el crisol y se esperó hasta que se fundan ,
- Una vez que se fundieron se batió la colada para obtener resultados favorables,
- Luego se coló en el molde metálico previamente calentado y en un molde más pequeño para obtener probetas de prueba.
- Se pesó el material
- Se realizó el Ensayo de Planta pero los resultados constan en la siguiente sección
- Se extrajo una muestra para realizar el análisis químico.

En la tabla N° XXIV consta la composición que tendrá la Aleación al aumentarle un 10% de cobre.

TABLA XXIV Composición cargada para refusión lote 1 con un 10% más de Cobre

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Obtenida (%)	Peso (g)
Cobre	89	89.6	974.6
Silicio	4	3.7	39.8
Zinc	3	2.8	31
Hierro	1.3	1.2	12.9
Manganeso	1	0.9	9.8
Aluminio	1	0.9	10
Estaño	0.7	0.6	7
Plomo	0.3	0.3	3

Para la refusión de la Aleación aumentando un 10% se procedió de la misma forma que cuando se aumentó un 5%, pero en este caso se aumentó 88.6 gramos de cobre sin alear.

Los resultados del aumento de cobre han mejorado la calidad de la aleación tal como lo indican los resultados expuestos a continuación; pero se decidió realizarla nuevamente con la finalidad de establecer el método efectivo de su fabricación.

Fabricación de la Aleación Final (Lote 2) :

Para la fabricación de el nuevo lote de aleación final se procedió de la siguiente manera para fabricar 5 kilogramos:

- Se realizó el cálculo de la carga aumentando un 5.2% al peso del cobre, un 3% al peso del manganeso, un 2% al peso del hierro, un 3% al peso del estaño, un 6.5% al peso del plomo, un 2% al peso del zinc y un 1% al peso del aluminio.

Esto es de la siguiente manera:

	Para 100 gramos	Para 5000 gramos	Más el Porcentaje
Cobre	89.0 g	4450 g + 5.2 % =	4681.0 g
Silicio	4.0 g	200 g	200.0 g
Zinc	3.0 g	150 g + 2.0 % =	153.0 g
Hierro	1.3 g	65 g + 2.0 % =	66.5 g
Manganeso	1.0 g	50 g + 3.0 % =	51.5 g
Aluminio	1.0 g	50 g + 1.0 % =	50.5 g
Estaño	0.7 g	35 g + 3.0 % =	36.5 g
Plomo	0.3 g	15 g + 6.5 % =	16.0 g
	100.3 g	5015 g	5255.0 g

TABLA XXV Composición cargada para fabricar la Aleación Final (Lote 2)

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Cargada (%)	Peso (g)
Cobre	89	89.1	4681
Silicio	4	3.8	200
Zinc	3	2.9	153
Hierro	1.3	1.3	66.5
Manganeso	1	1	51.5
Aluminio	1	0.9	50.5
Estafío	0.7	0.7	36.5
Plomo	0.3	0.3	16

- Se peso cada uno de los elementos.
- Se los arreglo de tal forma que queden listos para el momento de la fusión, esto es:
 - Se corto las barra de cobre de tal forma que se las pueda colocar en el crisol, sin que estas sobrepasen el nivel del crisol para evitar que se oxiden.
 - Se coloco el ferrosilicio previamente triturado en papel de cobre en un solo paquete con la finalidad de no tardar demasiado introduciéndolo en el horno; el peso cargado de este fue 266 gramos, estando el mismo en una proporción de 75-25, es decir 75% de silicio y 25% de hierro.
 - Se colocó el manganeso envuelto en papel de cobre, para evitar que este se derrame, ya que esta en forma de polvo.
 - Se preparó el zinc, esto es fundiéndolo y colando en un molde de arena para

obtener probetas pequeñas que puedan ser introducidas en la campana de grafito, previamente calentada, para que sean sumergidas hasta el fondo del crisol y evitar que se pierda quedándose en la superficie.

- Se peso la aleación madre esto es 103.1 g en los que se tiene:

Al 50.5 g

Sn 36.6 g

Pb 16.0 g

103.1 g Siendo este el peso cargado.

También se utilizó carbón y vidrio molido, para proteger la superficie de la colada; es decir evitar la absorción de gases.

- La técnica de fusión fue la siguiente:

- Se colocó el cobre en el crisol,
- Se prendió el horno, tratando de estabilizar la llama hasta alcanzar una ligeramente oxidante,
- Se colocó los elementos aleantes en la tapa del horno para quitarles la humedad,
- Cuando se estabilizó la llama se empezó a controlar el tiempo de fusión del cobre el cual no debe sobrepasar los 45 minutos,
- Mientras el cobre alcanzaba su punto de fusión se preparó los moldes metálicos esto es calentándolos para eliminar la humedad de los mismos; así como también se preparó la herramienta para desmoldar,
- Se controló la temperatura con la finalidad de no sobrepasar los 1100 ° C ya que la temperatura de liquidus de esta aleación es de 916° C.
- Una vez que el cobre alcanzó su punto de fusión se disminuyó la llama cerrando

un poco la válvula de gas con la finalidad de que la temperatura baje.

- Luego se agregó rápidamente los elementos en el siguiente orden:
 1. El ferrosilicio
 2. El manganeso
 3. La aleación Madre
 4. El zinc utilizando la campana de grafito,
- Se batió la colada varias veces con la finalidad de que se obtenga una mezcla homogénea.
- Se tomo la temperatura, siendo la misma de 980 ° C,
- Luego se coló el los moldes metálicos,
- Se pesó el material obtenido, para calcular las pérdidas en peso.
- Se realizó el ensayo de Planta cuyos resultados se muestran en la sección resultados
- Se extrajo una muestra para realizar el Análisis Químico, en el Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL, cuyos resultados también constan a continuación en la sección resultados.
- Se preparó las probetas para el ensayo de tracción, que se realizará luego de cumplir con las otras pruebas.

Como los resultados si son favorables, no se realizó nuevamente la aleación sino que se pasó a realizar las pruebas de laboratorio.

2.4 ENSAYOS DE PLANTA.

El Ensayo de Planta abarca pruebas que se realizan en el instante mismo de su fabricación, para lo cual se utiliza un molde metálico más pequeño para el colado. Para esta prueba utilizaremos una cartilla de reporte de colada en la que se evaluará dando una calificación de Alta, Media y Baja, tal como se muestra en la figura N°11 en la que consta la calificación para el Lote 1 de Aleación final.

La prueba consiste en colocar a la muestra de tal forma que se la pueda golpear con un combo pequeño hasta su fractura para poder analizarla.

Una vez obtenidas las muestras del Lote 1 de aleación final se procedió a realizar el ensayo de planta de lo que se obtuvo los resultados que constan en la cartilla de la figura 11, así como también se evaluó los ángulos de Fractura de todas las probetas, cuyos resultados constan en la tabla XXVI y las fotografías en las figuras 15,16,17,18.

TABLA XXVI Resultados de Angulo de Fractura

Muestra	Angulo de Fractura	Tipo de Fractura
Lote 1	35	Copa/cono
Lote 1 + 5% Cu	45	Copa/cono
Lote 1 +10% Cu	60	Copa/cono
Lote 2	65	Copa/cono



REPORTE DE COLADA

Material : Bronce al Silicio (Lote 1)

Carga : 5744.4 gramos

Propiedades.		Control de Colada	
Resistencia	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Gases en el horno	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Ductilidad	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Rechupe de probeta	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
		Tamaño de grano probeta fracturada	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
		Temperatura de Metal	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		Agitación de metal en el crisol	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

*

	Alto
	Medio
	Bajo

Figura N° 11 Resultados del Ensayo de Planta (Lote 1)

Observando los resultados, tenemos que la Resistencia es sumamente alta y la ductilidad es baja, además la temperatura alcanzada es alta, pero como el mayor problema es la resistencia alta se decidió aumentar un 5% de cobre y los resultados de esto se exponen en la figura N° 12.

REPORTE DE COLADA

Material : Bronce al Silicio (Lote 1) más 5% Cu

Carga : 1043.8 gramos

Propiedades.

Resistencia



Ductilidad



Control de Colada

Gases en el horno



Rechupe de probeta



Tamaño de grano
probeta fracturada



Temperatura
de Metal



Agitación de
metal en el crisol



*  Alto
Medio
Bajo

Figura N° 12 Resultados del Ensayo de Planta lote 1 más el 5% Cu

Como podemos observar la Resistencia ha disminuido pero aún sigue alta, y la ductilidad aumento en cierto grado, es decir que es una buena alternativa aumentar cobre, por lo que se aumentó ahora un 10% de este, constando los resultados en la figura N° 13.

REPORTE DE COLADA

Material : Bronce al Silicio (Lote 1) más 10% Cu

Carga : 1088.1 gram os

Propiedades.

Resistencia



Ductilidad



Control de Colada

Gases en el horno



Rechupe de probeta



Tamaño de grano
probeta fracturada



Temperatura
de Metal



Agitación de
metal en el crisol



* Alto
Medio
Bajo

Figura N° 13 Resultados del Ensayo de Planta lote 1 más el 10% de Cu

Como podemos observar los resultados, la resistencia ha bajado y la ductilidad aumentó, lo que nos hace detenernos y realizar el siguiente paso que es el Análisis químico, para verificar su composición.

Se realizó otra aleación con la finalidad de establecer el método efectivo de su fabricación y los resultados del ensayo de planta se muestran a continuación.

REPORTE DE COLADA

Material : Bronce al Silicio (Lote 2)

Carga : 5255 gram os

Propiedades.

Resistencia



Ductilidad



Control de Colada

Gases en el horno



Rechupe de probeta



Tamaño de grano
probeta fracturada



Temperatura
de Metal



Agitación de
metal en el crisol



*

	Alto
	Medio
	Bajo

Figura N° 14 Resultados del Ensayo de Planta Lote 2

Como podemos observar los resultados, la resistencia es alta y la ductilidad es alta , así como también el tamaño de grano es fino, y la temperatura es media, lo que nos condujo a realizar las siguientes pruebas de laboratorio.

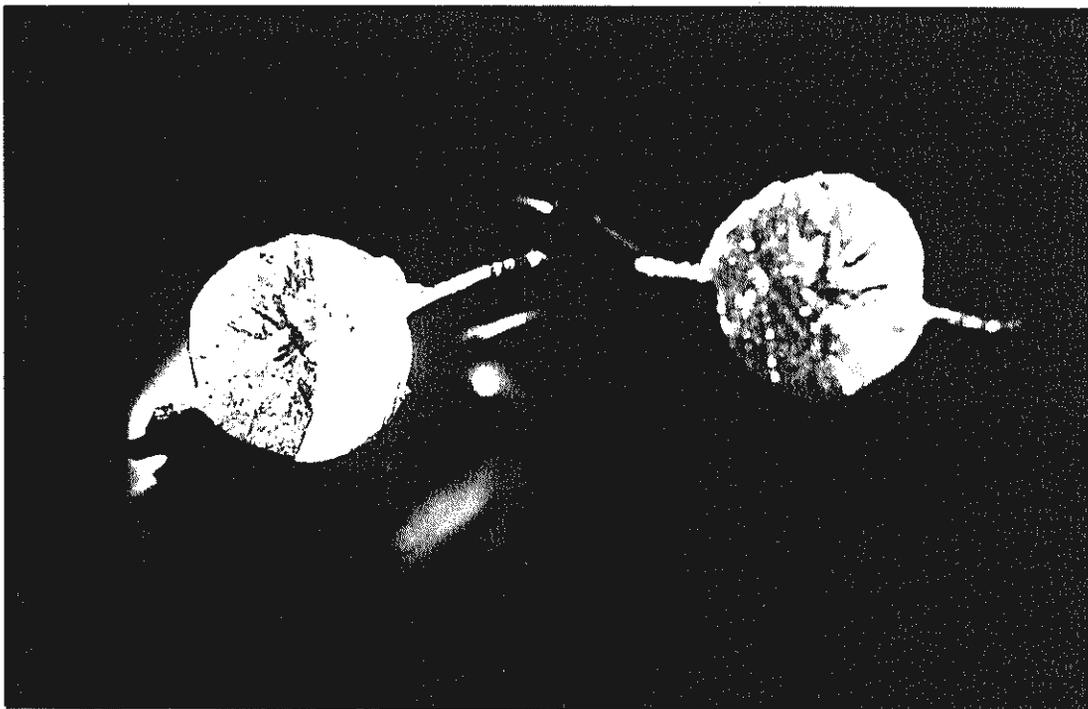


Figura N° 15 Fotografía de la Fractura por Impacto Lote 1

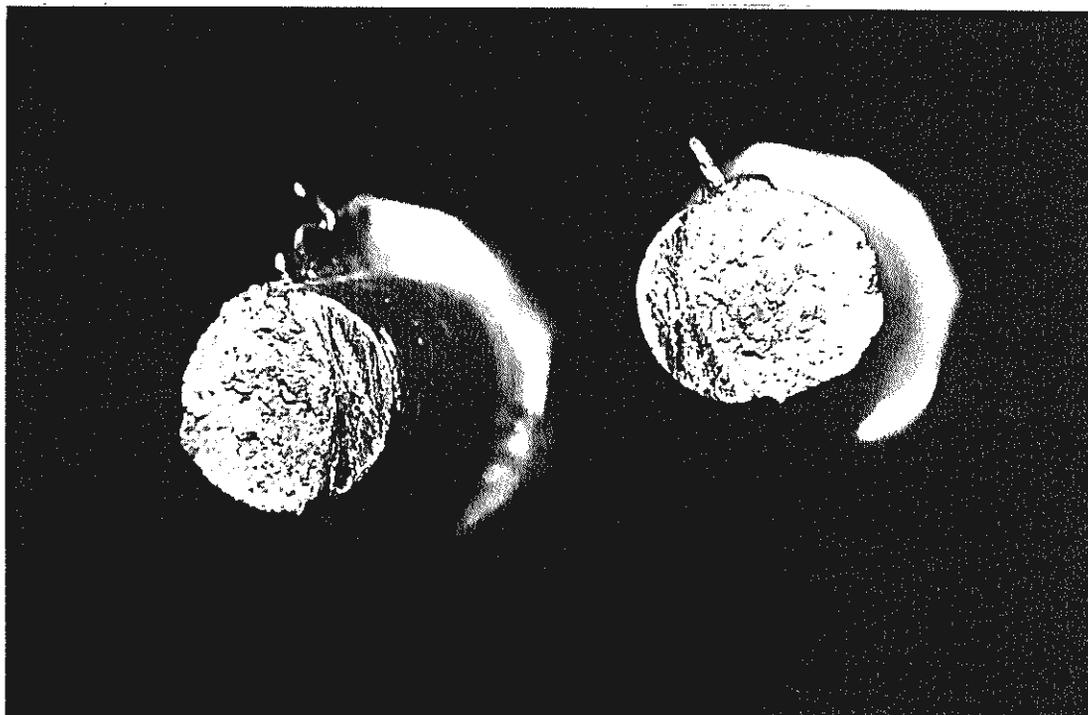


Figura N° 16 Fotografía de la Fractura por Impacto Lote 1 más el 5% de Cobre



Figura N° 17 Fotografía de la Fractura por Impacto Lote 1 más el 10% de Cobre

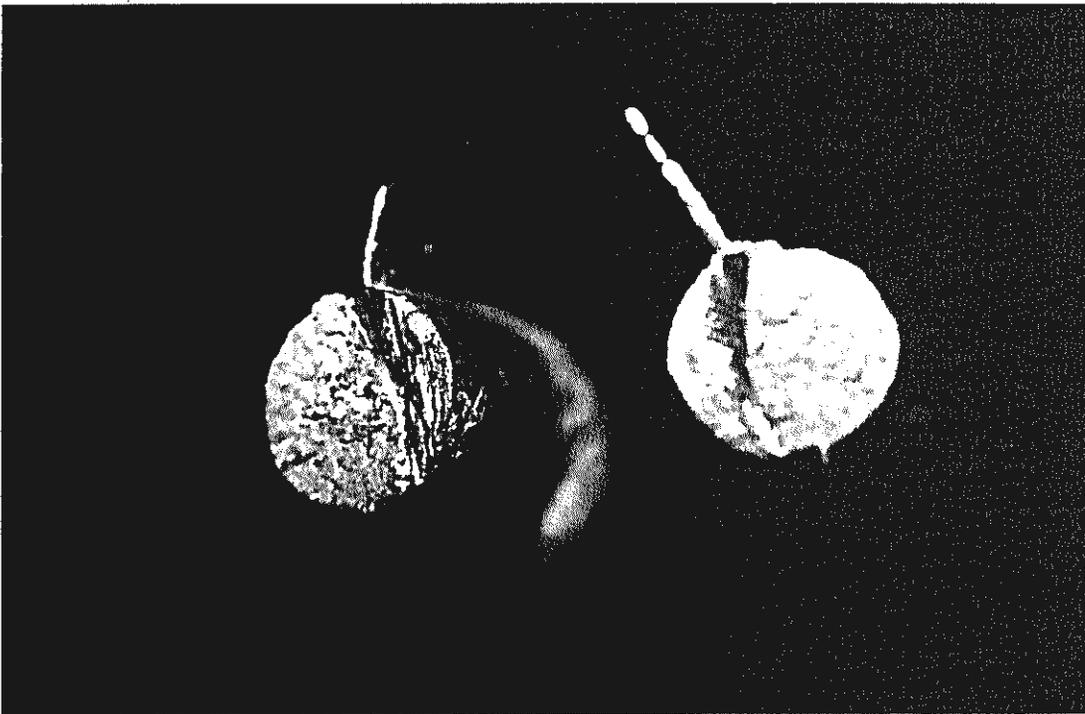


Figura N° 18 Fotografía de la Fractura por Impacto Lote 2

2.5 PRUEBAS DE ACUERDO A NORMA UNS C87200 (SAE J462).

Las pruebas a realizar son:

- **Análisis Químico**
- **Metalografía**
- **Dureza**
- **Ensayo de Tracción**

Análisis Químico:

Para esta prueba se extrajo 5 gramos de la Aleación Bronce al Silicio tanto del lote 1, lote 1 más el 5%, lote 1 más el 10% y del lote 2, para ser llevada al Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL. El análisis consiste en lo siguiente:

- Pesar una muestra de 0.5 gramos de cada muestra,
- Agregar agua destilada,
- Agregar Acido Perclórico 60% en una proporción de 7.5 ml
Acido Nítrico en una proporción de 5 ml
Acido Clorhídrico en una proporción de 2.5 ml
- Luego llevar a disolver durante 1 hora en el reverbero,
- Una vez disuelta la muestra, se debe filtrar porque la aleación contiene silicio y este se lo obtiene quemando los residuos que quedan, es decir no se disuelve,
- Después de filtrar, se procede a pesar los residuos para colocarlos en el horno hasta alcanzar una temperatura de 850° C , temperatura a la cual debe permanecer durante una hora, luego se deja enfriar para pesarlo y hacer el cálculo de cuanto silicio en porcentaje tiene la muestra.

- Con el líquido obtenido luego de filtrar, se preparan soluciones con concentraciones más bajas para poder leer en el equipo de Absorción Atómica.

Los resultados del análisis químico se muestran en la siguiente sección.

Metalografía:

Esta prueba se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la ESPOL.

Se prepararon las probetas del primer lote, primer lote más el 5% , primer lote más el 10% y del segundo lote y esto consiste en:

- Pulido grueso con lijas N° 180, 220, 360, 500, 600,
- Pulido fino en la mesa pulidora con pasta abrasiva de alúmina,
- Lavado con agua ,
- Ataque Químico con Acido Crómico y unas gotitas de Acido clorhídrico,
- Posteriormente se las analizó al microscopio con un aumento de 750X,
- Luego se reprodujeron las imágenes mediante fotomicrografía, las mismas que son expuestas en la sección resultados.

Dureza:

Esta prueba también se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la ESPOL, para el cual:

- Se preparó las probetas puliéndolas un poco con la finalidad de que la superficie de las mismas este clara y poder tomar la medición sin tener problemas.
- Se tomo la dureza utilizando el Durómetro Brinell con una carga de 500 kilogramos, durante 15 segundos,
- Luego se procedió a leer los resultados los mismos que se muestran a continuación

Ensayo de Tracción:

El ensayo de tracción se lo realizó en el Laboratorio de Sólidos de la ESPOL, para lo que:

- Se preparó las probetas planas con las medidas proporcionadas por el Tecnólogo Víctor Guadalupe (Encargado del Laboratorio), tal como se muestran en los Anexos en la que constan las medidas y en la figura N° 19 en la que constan algunas de las probetas a las que se les realizó el ensayo.
- Se midió la longitud inicial (L_i), el ancho inicial (M_i) y la Profundidad inicial (P_i),
- Se realizó el ensayo de tracción,
- Se midió la longitud final y con los valores de Carga máxima (W_m), Carga de fluencia (W_f) con el Método de Fluencia aparente, utilizando las siguientes fórmulas se obtuvo:

$$\text{Resistencia Mecánica: } R_m = W_m / (M_i * P_i)$$

$$\text{Resistencia a la Fluencia } R_f = W_f / (M_i * P_i)$$

$$\text{Elongación } \% E = 100 ((L_f / L_i) - 1)$$

Los resultados constan en la siguiente sección y los gráficos constan en los Anexos.

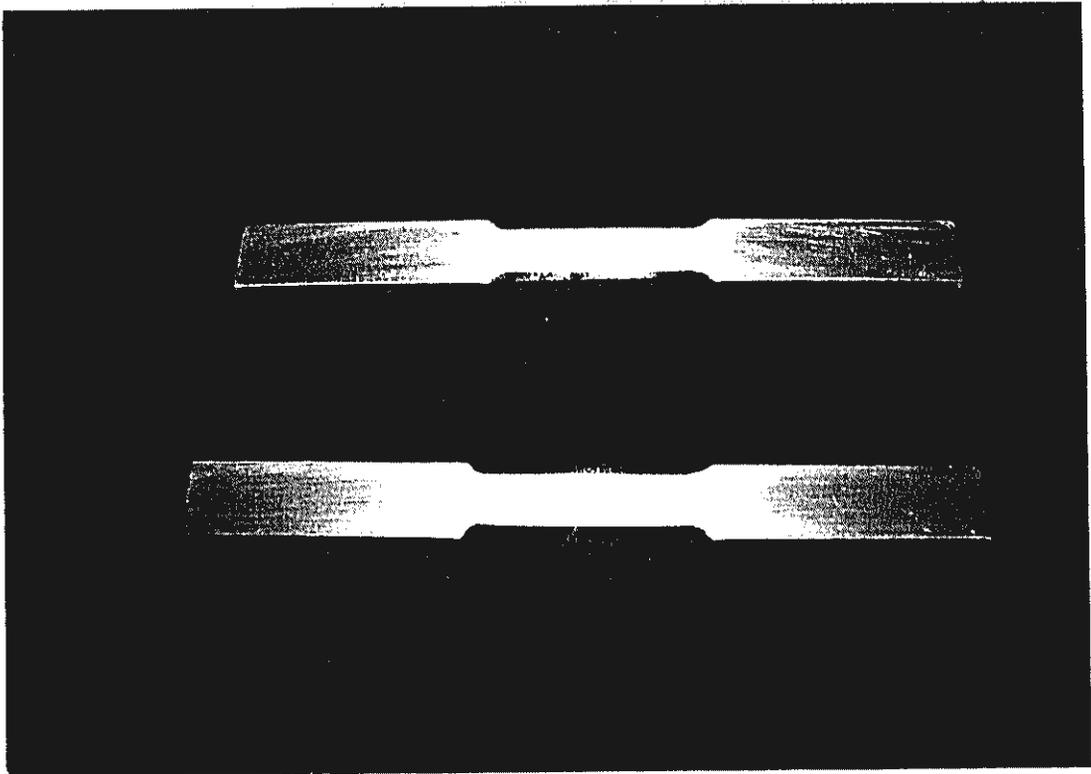


Figura N° 19 Fotografía de las Probetas para el Ensayo de Tracción

2.6 RESULTADOS OBTENIDOS.

Resultados del Análisis Químico:

TABLA XXVII Resultados del Análisis Químico Lote 1

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Obtenida (%) *	Pérdidas (%)
Cobre	89	86.4	2.5
Silicio	4	4.5	
Zinc	3	3.1	
Hierro	1.3	0.4	69.2
Manganeso	1	0.2	80
Aluminio	1	0.9	10
Estafío	0.7	0.6	14.2
Plomo	0.3	0.2	33.3

TABLA XXVIII Pérdida Total en Peso Lote 1

Peso Cargado (gramos)	Peso Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
5744.4	5532	3.7

TABLA XXIX Resultados del Análisis Químico Lote 1 más el 5% de Cobre

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Obtenida (%)	Pérdidas (%)
Cobre	89	88.5	0.7
Silicio	4	4	
Zinc	3	3	
Hierro	1.3	0.4	66.7
Manganeso	1	0.3	66.7
Aluminio	1	0.9	10
Estaño	0.7	0.6	14.3
Plomo	0.3	0.2	33.3

TABLA XXX Pérdida Total en Peso Lote 1 más el 5% de Cobre

Peso Cargado (gramos)	Peso Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
1043.8	1022	2.1

TABLA XXXI Resultados del Análisis Químico Lote 1 más el 10% de Cobre

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Obtenida (%)	Pérdidas (%)
Cobre	89	89	0.7
Silicio	4	4	
Zinc	3	2.9	3.3
Hierro	1.3	0.3	75
Manganeso	1	0.3	66.7
Aluminio	1	0.8	11.1
Estaño	0.7	0.6	14.3
Plomo	0.3	0.2	33.3

TABLA XXXII Pérdida Total en Peso Lote 1 más 10% de Cobre

Peso Cargado (grados)	Peso Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
1088.1	1067.4	1.9

TABLA XXXIII Resultados del Análisis Químico Lote 2

Elemento	Comp. Requerida (%)	Comp. Obtenida (%)	Pérdidas (%)
Cobre	89	89.2	
Silicio	4	3.2	15.8
Zinc	3	2.7	6.8
Hierro	1.3	1.1	15.3
Manganeso	1	0.9	10
Aluminio	1	0.8	11.1
Estaño	0.7	0.7	
Plomo	0.3	0.25	16.7

TABLA XXXIV Pérdida Total en Peso Lote 2

Peso Cargado (gramos)	Peso Obtenido (gramos)	Pérdidas (%)
5255	5192	1.2

Resultados del Análisis Microestructural:

Las cuatro muestras analizadas revelan la presencia de una fase Alfa (α), que es la parte blanca, así como también podemos observar la fase beta (β) que son en la fotomicrografía las partes más oscuras, provocando la presencia de esta fase que la resistencia sea elevada en la aleación del lote 1, existe también una

región más clara, casi ploma siendo estos los compuestos intermetálicos que existen por la presencia del hierro y manganeso; esto podemos apreciarlo en las figuras que constan a continuación.



Figura N° 20 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 1.
750X. CrO₃, HCl



Figura N° 21 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio lote 1 más 5% Cu
750X. CrO₃, HCl



Figura N° 22 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio lote 1 más el 10%
750X. CrO₃, HCl



Figura N° 23 Fotomicrografía de la Aleación Bronce al Silicio Lote 2
750X. CrO₃, HCl

Resultados de la Prueba de Dureza:

TABLA XXXV Resultados de la prueba de Dureza

Muestra	Dureza (HB)
Lote 1	103
Lote 1 + 5% Cu	98.3
Lote 1 + 10% Cu	90
Lote 2	86

Resultados del Ensayo de Tracción:

TABLA XXXVI Resultados del Ensayo de Tracción

Muestra	Li (mm)	Lf (mm)	Wm (Kg)	Wf (Kg)	Rm (Kg/mm ²)	Rf (Kg/mm ²)	%E
Lote 1	50	60.5	1650	840	43.3	22	21
Lote 1+5%	50	62	1530	740	40.2	19.4	24
Lote 1+10%	50	64	1505	700	39.5	18.4	28
Lote 2	50	64.5	1486	680	39	17.8	29

Siendo el área inicial igual a : 38.1 mm² para todas las probetas ensayadas.

CAPITULO III . ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 CON RELACION AL PROCESO DE FUSION.

El Proceso de Fusión es uno de los pasos más importante para la fabricación de la Aleación Bronce al Silicio, ya que de esto depende la calidad de la aleación obtenida .

Los resultados obtenidos en la colada del Lote 1 nos muestran luego de haber realizado el ensayo de planta que la resistencia es demasiado alta, razón por lo que se decidió aumentar un 5% más de cobre para que la resistencia disminuya, asumiendo que el cobre era el elemento que hacia que la aleación aumente su ductilidad; luego de realizar el ensayo a la muestra más el 5% de cobre, pudimos comprobar que nuestra asunción era verdadera y que efectivamente el elemento que faltaba adicionarle era el cobre, lo que comprobamos luego al realizar el Análisis Químico donde resultaba que el cobre estaba en proporción del 86.4% que hace que la aleación ya no cumpla el porcentaje requerido de este que es de mínimo el 89%; pero como la resistencia seguía siendo alta, aunque mejoró y el análisis químico dio un resultado bajo en cobre, se decidió aumentarle 10% más de cobre lo que mejoró tanto su ductilidad así como el análisis químico resultó favorable y el ángulo de fractura es mayor.

También hubo pérdidas de hierro y de Manganeso pero se acepta la aleación obtenida pues los valores bajo norma de estos son de hierro 1.3 y manganeso 1.0 como máximo y no hay un valor mínimo.

Además cabe indicar que hubo pérdida en peso en el primer lote de 3.7%; esta

es considerada como alta y al analizar la causa de la misma tenemos que el factor que más influyó para esta fue el tiempo de permanencia del metal en el crisol, ya que en la primera colada se repartió el ferrosilicio en varios paquetes para ser ingresados a la colada de cobre, los mismos que estuvieron envueltos en papel periódico que provocó la presencia de escoria, que al momento de ser retirada de la colada provoca pérdidas en peso, y el tiempo que se ocupó para ingresarlo superó los 5 minutos, lo que causó que la colada se enfrié y se tenga que volver a prender el horno para ingresar el resto de elementos, implicando esto que aumente el tiempo de permanencia en el horno; siendo el tiempo total ocupado para obtener este lote de 1 hora con 35 minutos; otro factor que debe considerarse es la Temperatura, ya que si la temperatura sube demasiado también obtendremos pérdidas.

Al realizar la fabricación de la Aleación (Lote 2) se tomó muy en cuenta las condiciones bajo las cuales se realizó el proceso de fusión, y se estableció en primer lugar el tiempo que debe durar el proceso de fusión y colado y este debe ser de 1 hora; distribuido de tal forma que la fusión del Cobre que es el elemento que entra primero al horno dure 45 minutos como máximo, la adición de todos los elementos aleantes debe durar 10 minutos y todos los que necesiten deben ser envueltos en papel de cobre; y el proceso de colado debe durar 5 minutos.

Todos estos pasos fueron seguidos para fabricar el segundo lote, lo que nos lleva a obtener una aleación que al realizar el ensayo de planta los resultados son favorables, el análisis químico cumple con la composición que establece la norma, en el ensayo de tracción la resistencia es la apropiada, y al observar su

microestructura las fases presentes son las que debíamos obtener; y la temperatura que se controló durante el proceso de fusión fue de 1100° C como máximo ya que la temperatura de liquidus de la aleación es de 916° C.

3.2 CON RELACION A LA CALIDAD DE LA ALEACION OBTENIDA.

Al aumentar al Lote 1 el 10% de Cobre y al realizar el Lote 2 , luego de hacer las pruebas obtenemos resultados favorables de Análisis Químico, Metalografía, Ensayo de Tracción, y Dureza, es decir cumple con los requerimientos de la norma garantizando esto una buena calidad de la Aleación obtenida.

Pero también debemos considerar otros factores como por ejemplo si la aleación obtenida posee porosidades, y en la aleación no existe la presencia de poros, lo que pudimos comprobar al realizar las probetas para el ensayo de tracción; estos resultados se deben a que se tomaron algunas medidas para evitarlos y esto es :

- Se calentó previamente en la tapa del horno los elementos aleantes que ingresaron a la colada para quitarles la humedad que puedan contener, la que al contacto con la colada provoca la presencia de hidrógeno, el mismo que queda retenido en el metal fundido y al solidificar origina porosidades en las piezas obtenidas.
- También se trabajó con una atmósfera oxidante y se protegió el metal fundido con una capa de carbón y trozos de vidrio que actúan como fundentes, es decir protegen la superficie de la colada para evitar la presencia de hidrógeno.

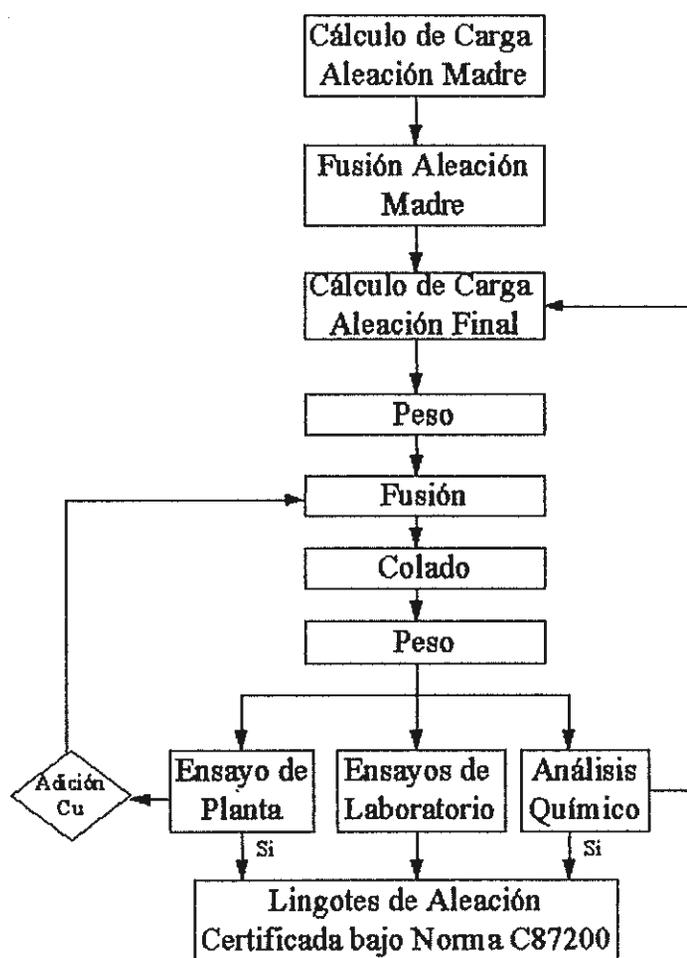


Figura N 24 Diagrama del Método efectivo de Fabricación de la Aleación Bronce al Silicio

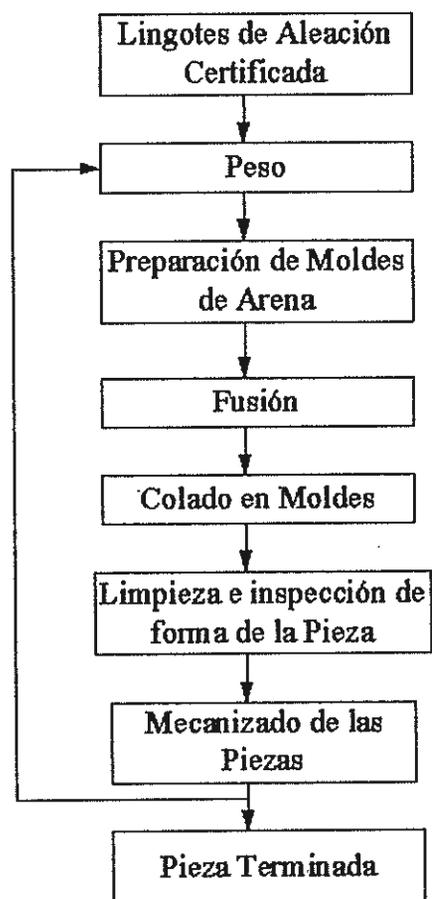


Figura N 25 Diagrama del proceso de Elaboración de Elementos Mecánicos a partir de Aleación Certificada Bronce al Silicio

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES.

- Se ha logrado que la aleación fabricada cumpla con los requerimientos de la Norma UNS C87200, lo que la convierte en materia prima nueva elaborada a base de chatarra, y que posteriormente será utilizada para fabricar piezas especialmente en moldes de arena, que reemplazan a las tradicionalmente hechas con Bronce al Estaño, que resultaban con un costo más elevado, por el alto contenido de estaño, siendo este el elemento de mayor costo a utilizar.
- El Método efectivo de fabricación de la Aleación presenta dos posibilidades de suma importancia como son; que si la aleación no pasa el ensayo de planta, osea la resistencia es demasiado alta y la ductilidad es baja, se le puede adicionar un porcentaje de cobre y mejorar la calidad de la misma, ó una segunda posibilidad en la que no es necesario aumentar ningún elemento adicional y obtener buenos resultados; pero para esto se debe seguir paso a paso el método de fusión utilizado para fabricar el lote 2, así como también respetar el tiempo establecido de 1 hora como máximo para su fabricación con la finalidad de evitar posibles pérdidas.
- Las pérdidas obtenidas tanto al fabricar las aleaciones madre, así como la aleación final, pueden minimizarse disminuyendo el tiempo de permanencia del metal en el horno y llevando un estricto control de la temperatura, la que para fabricar la aleación final no debe sobrepasar los 980° C.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de la Aleación Bronce al Silicio se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos, en cuanto a la :

Carga: - Esta debe ser del tamaño adecuado

- El carbón y vidrio listos para ingresarlos en el crisol

Fusión: - La fusión del cobre debe durar como máximo 45 minutos

- La temperatura del cobre no debe sobrepasar los 1100 ° C
- El ingreso de los elementos aleantes no debe tardar más de 10 minutos para esto el orden en el que ingresan los elementos previamente calentados es, primero el ferrosilicio, luego el manganeso, la aleación madre y por último el zinc.

- Colado: - El molde debe estar bien seco

- La temperatura del metal debe ser 980° C.

- El material debe estar bien batido

- Los moldes deben estar listos y organizados

- Las herramientas para desmoldar deben estar a la mano.

- Hay que tener en cuenta que la capacidad de absorción de gases por el metal fundido aumenta, como es obvio con la temperatura, por lo que se recomienda efectuar la colada a la menor temperatura que sea compatible con el buen resultado de la misma.

- Para evitar la presencia del hidrógeno se debe operar durante el proceso de fusión en una atmósfera oxidante y se deberá proteger la superficie del metal fundido con

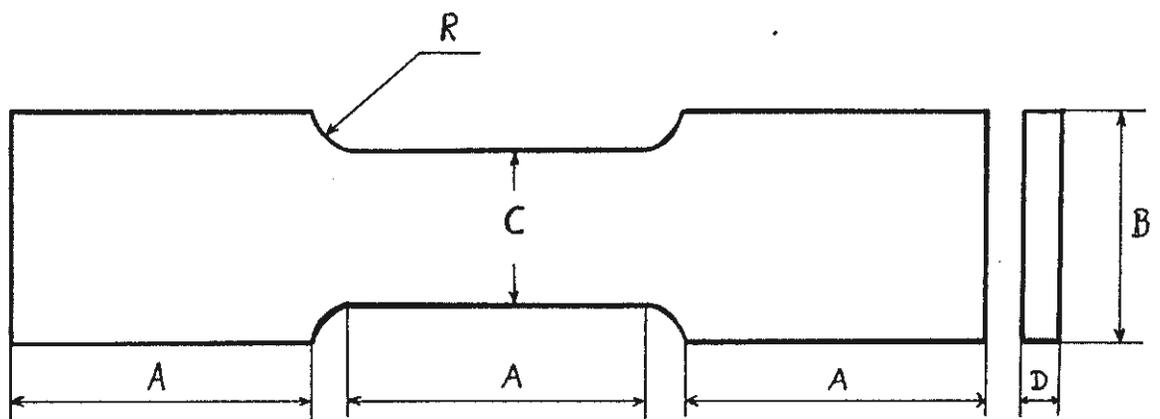
una capa de carbón y trozos de vidrio que actúan como fundentes.

- Se recomienda evitar el recalentamiento de la colada, reduciendo al mínimo el tiempo en que el metal permanezca en estado fundido, con la finalidad de evitar pérdidas.
- Se recomienda seguir el Método efectivo propuesto para elaborar la Aleación Bronce al Silicio en los diferentes talleres de fundición de nuestro país.

ANEXOS

ANEXO I

Dimensiones de la Probeta utilizada para el Ensayo de Tracción



$$A = 50.0 \text{ mm}$$

$$B = 19.0 \text{ mm}$$

$$C = 12.7 \text{ mm}$$

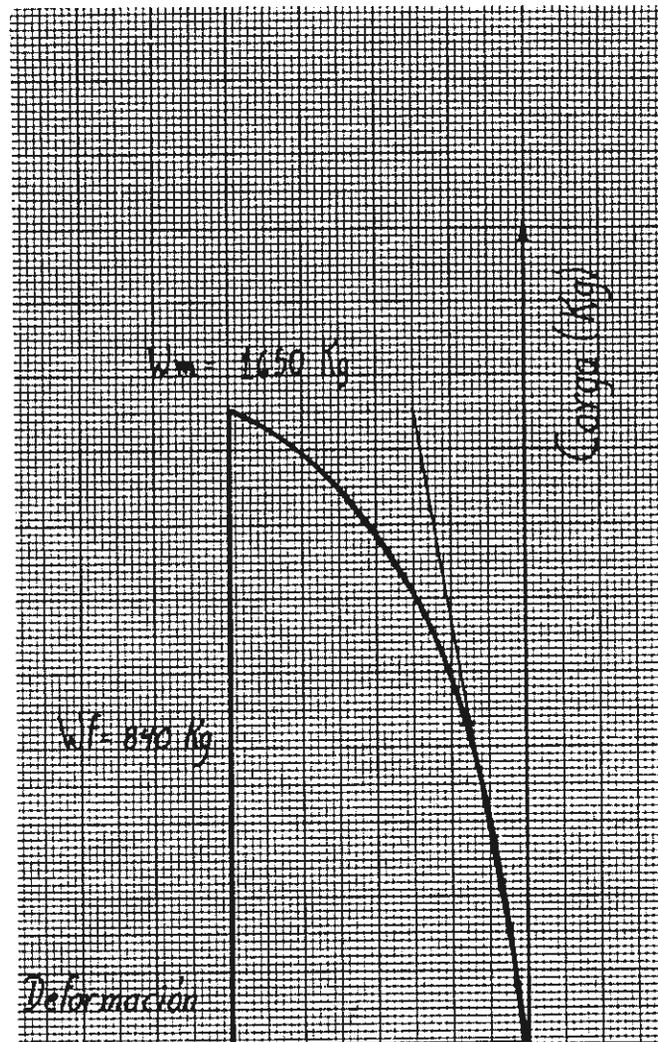
$$D = 3.0 \text{ mm}$$

$$R = 25.0 \text{ mm (mínimo)}$$

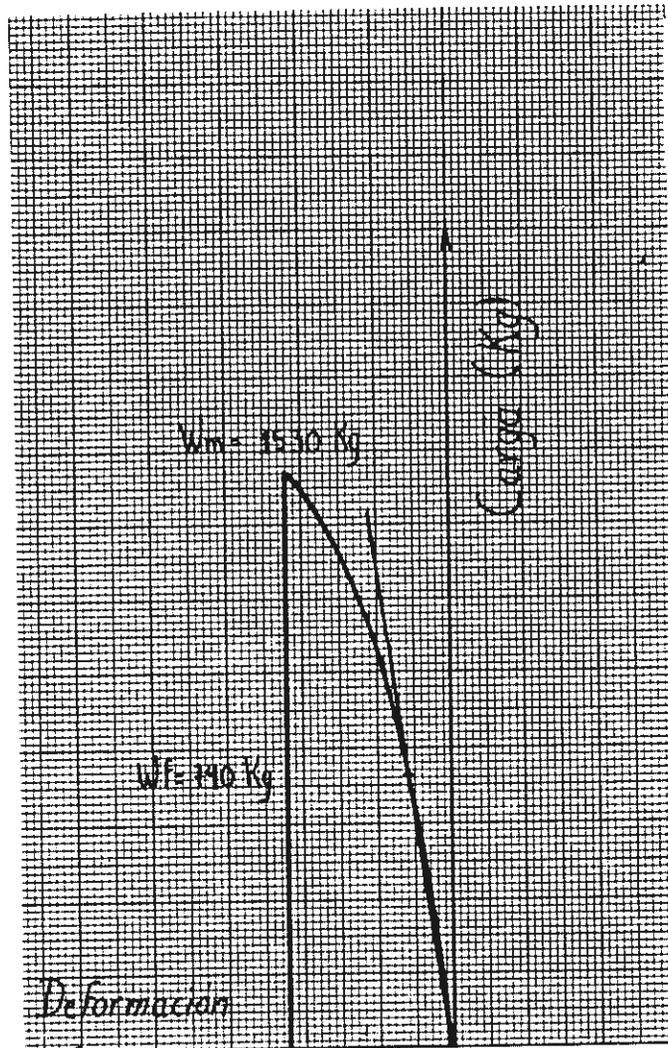
ANEXO II

Resultados Gráficos Carga - Deformación de los Ensayos de Tracción

Lote 1

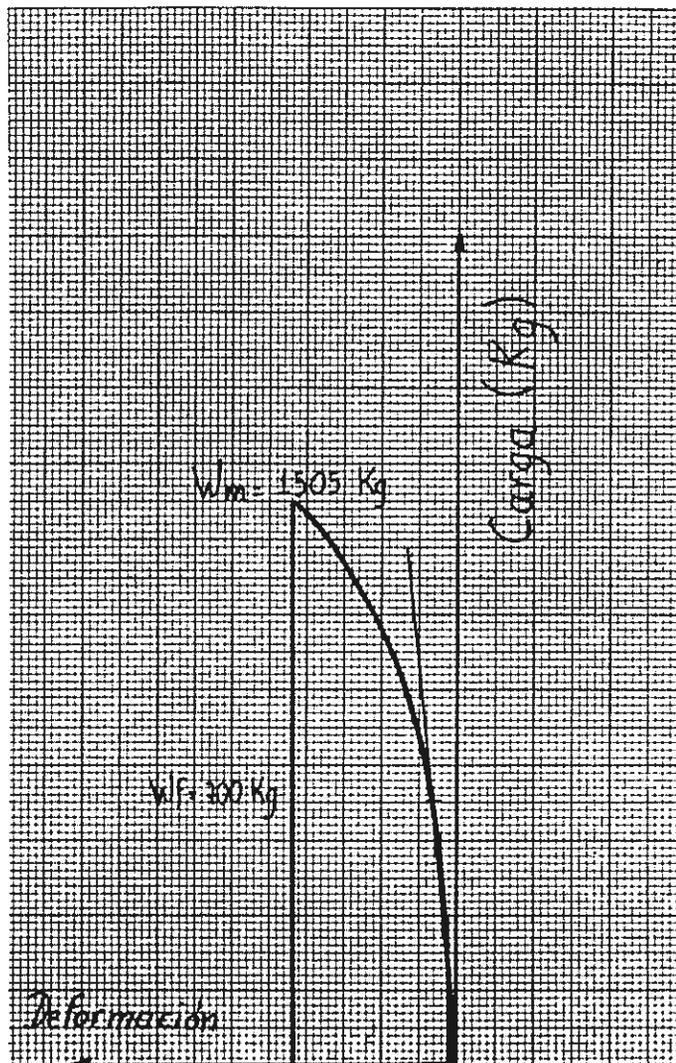


Escala : 1: 100 Kg

Lote 1 más el 5% de Cobre

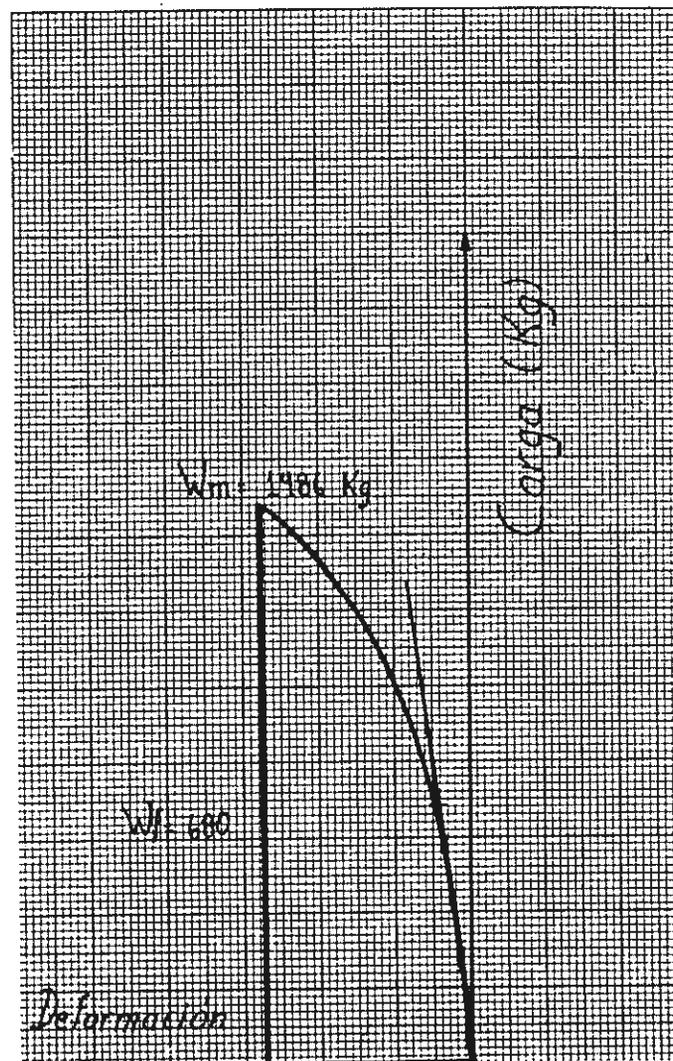
Escala : 1: 100 Kg

Lote 1 más el 10% de Cobre.



Escala : 1: 100 Kg

Lote 2



Escala : 1: 100 Kg

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASM International Metals Handbook, Volumen 2, "Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and Pure Metals", 1989. USA. pp. 383-387, 390-393, 416, 442-456, 468-471.
- 2.- ASM International Metals Handbook, Volumen 9, "Metallography and Microestructures". 1989. USA. pp. 399-401
- 3.- Annual Book of ASTM Standards, Part 5, "Copper and Copper Alloys". 1973. USA. pp. 376-378
- 4.- American Foundrymen's Society, Inc, "Casting Copper - Base Alloys". Des Plines, Illinois. 1984. USA. pp. 165-169.
- 5.- The Lincoln Electric Company, Twelfth Edition, "The Procedure Handbook of Arc Welding". 1973. USA. pp. 10.1-1 - 10.1-8.
- 6.- Baumeister y Mark, "Manual del Ingeniero Mecánico de Marks". México. pp. 652-665.
- 7.- Sydney H. Avner, "Introducción a la Metalurgia Física", Segunda Edición, McGraw-Hill. 1979. pp. 457-471
- 8.- José María Lasheras Esteban, "Materiales Industriales". Ediciones CEDEL. 1981. Barcelona. pp. 658-669.
- 9.- José Torres, "Manual Moderno de Fundición", Ediciones Técnicas DANAE. pp. 147-149, 153-157.
- 10.- Society of Automotive Engineers, Inc. Parte I. "SAE Handbook" . 1979. pp. 11.61-11.63.
- 11.- E.D. Howard. "Moder Foundry Practice", Tercera Edición. pp. 111, 112.

- 12.- A. Biedermann y L. M. Hassekief, "Tratado Moderno de Fundición, Metales No Ferrosos, Hornos Eléctricos, Ensayos de Metales". Segunda Edición. pp. 18-21, 72, 121.
- 13.- Robert E. Reed - Hill, "Principios de Metalurgia Física". 1979. México pp. 470-483.
- 14.- ASM International Metals Handbook, Volumen 16, "Machining". 1989. USA. pp. 805.
- 15.- Non Ferrous - Founders' Society, Inc. "Copper, Brass and Bronze Casting". USA.