

T
673.5
H632



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA**

" RECICLAJE DE ESCORIA DE ZINC PARA PRODUCCION DE
ALEACIONES HOMOLOGADAS EN BASE ZINC Y EN BASE COBRE"

TESIS DE GRADO
Previa a la Obtención del TITULO de
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
NELSON AUGUSTO HIDALGO CEDAÑO



Guayaquil - **Ecuador**
AÑO 1997

AGRADECIMIENTO

A Dios **todo** poderoso por haberme dado **las** facultades y herramientas suficientes **para** culminar mi **carrera** estudiantil.

Al Ingeniero Ignacio Wiesner por **sus** sabias **enseñanzas** y **su** **colaboración incondicional** en la **realización** de este **trabajo**.

Y a **todas aquellas** personas que de alguna **manera** colaboraron conmigo **para** poder **llegar** a **esta** anhelada **meta**.

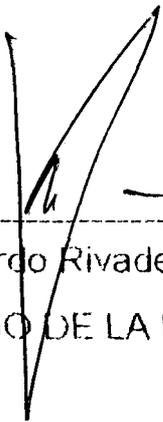
DEDICATORIA

A mis padres a quienes me lo han dado todo. A ellos he querido **dedicar todo** este esfuerzo y trabajo **como** muestra de la **inmensa gratitud** que les tengo.

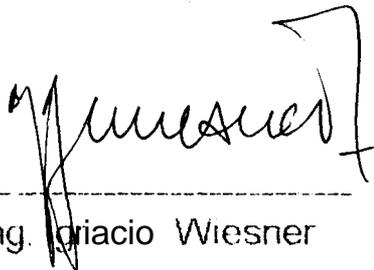
A mis hermanos **para** que **este** trabajo represente un ejemplo a **seguir** por ellos.

A mi querida esposa que en estos **últimos años** ha sido **pilar fundamental para** mi **superación**.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



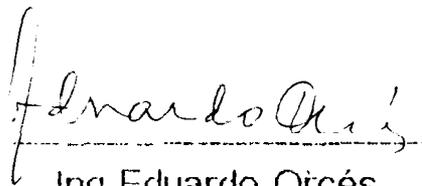
Ing. Eduardo Rivadeneira
DECANO DE LA FIM



Ing. Ignacio Wiesner
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Julián Peña
VOCAL



Ing. Eduardo Orcés
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)



Nelson Hidalgo Cedeño

RESUMEN



El presente trabajo trata de recuperar Zinc mediante escoria proveniente de **un** proceso de **Galvanizado**, **para** luego **utilizarlo** como materia prima en la **elaboración** de aleaciones de zinc y aleaciones de **cobre**.

Debido al **costo** que represent&a comprar zinc **puro**, hemos **creído conveniente** que una **alternativa para** abaratar costos sería la de reciclar escoria de zinc **para** utilizarlo **como** materia prima **para** fabricar aleaciones en base **Zn** y en base **Cu**. **Para** tales fines se **analiza químicamente** los lingotes de zinc obtenidos **después del** reciclaje **para** tener **una** idea de las **impurezas** presente en **los** lingotes y se escogen **las** aleaciones compatibles con **los** elementos presentes.

Finalmente se utilizan estos lingotes como materia prima **para** la **obtención** de la **aleación** de Zinc ZA-27 y la **aleación** de Cobre UNS **C86500** cuyas caracterkticas **mecánicas** son de uso industrial **para** lo **cual** se **hará un** proceso de homologacion por medio de pruebas de **laboratorio**.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1

I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Origen de la chatarra.....	3
1.2 Química de la escoria.....	8
1.3 Proceso de reciclado en lingotes.....	10
1.4 Aleaciones que pueden usar aleación madre Zn-Fe.....	12
1.5 Especificaciones de la aleación ZA27	16
1.6 Especificaciones de la aleación UNS C86500	23

II. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Objetivo y Metodología de la experimentación	33
2.2 Equipo Utilizado	43
2.3 Procedimiento Experimental.....	48
2.4 Control de Propiedades en laboratorio para homologacion...	79

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
-------------------------------------	--

3.1 Sobre el proceso	86
-----------------------------------	----

3.2 Sobre el producto obtenido.....,.....	90
--	----

IV, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
---	--

4.1 Conclusiones	92
-------------------------------	----

4.2 Recomendaciones.....	93
--------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	94
---------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura	1.1	Diagrama de Fase del sistema Fe-Zn	14
Figura	1.2	Microestructura de la aleación Fe-Zn (55% Fe + 45 % Zn) en la Región Heterogénea $\alpha + \Gamma$. Enfiado rápidamente desde 700°C. X200	15
Figura	1.3	Gráfico de las propiedades típicas de los ensayos de tensión de la aleación UNS C86500	29
Figura	1.4	Gráfico de la dureza (Brinell) vs. Temperatura en a aleación UNS C86500	31
Figura	1.5	Gráfico del módulo de elasticidad vs temperatura en la aleación UNS C86500	31
Figura	1.6	Gráfico de la resistencia al impacto vs temperatura en la aleación UNS C86500	32
Figura	2.1	Diagrama de obtención de lingotes de cobre , aluminio y zinc a partir de chatarra	35
Figura	2.2	Diagrama del proceso de reciclado de escoria de zinc.	37
Figura	2.3	Diagrama de elaboración de la aleación bronce al manganeso UNS C86500	40
Figura	2.4	Diagrama de la elaboración de la aleación de zinc ZA-27	41

Figura 2.5	Fotografía del horno de crisol que usa gas propano como combustible	46
Figura 2.6	Fotografía del molde metálico justo en el momento del precalentamiento.	47
Figura 2.7	Fotografía de la espuma o escoria de zinc de tipo granular	53
Figura 2.8	Fotografía de la espuma de zinc del tipo compacta	54
Figura 2.9	Fotografía de los lingotes obtenidos en el proceso de reciclaje	55
Figura 2.10	Fotografía de una probeta ensayada de la aleación UNS C86500	69
Figura 2.11	Fotomicrografía de la aleacion de cobre UNS C86500 ; 50 ml. NH ₄ OH, 50 ml. H ₂ O ₂ (3%), 50 ml. H ₂ O. Arriba 56X, Abajo 113X	84
Figura 2.12	Fotomicrografía de la aleacion de zinc ZA-27 ; 50g. CrO ₃ , 4g. Na ₂ SO ₄ , 1 lt. H ₂ O. Arriba 113X, Abajo 226X.	85

Cuya composición química básicamente es Zinc mas Aluminio, con pequeñas cantidades de cobre y magnesio.

La tabla # 1 muestra la composición nominal de las aleaciones a base de zinc.

TABLA # 1

COMPOSICIÓN NOMINAL DE LAS ALEACIONES DE ZINC

C O M P O S I C I O N (%)

Aleación	Al	Cu	Mg	Fe	Pb	Cd	Sn	Ni	Zn
No.3	3,5-4,3	0,25	0,02-0,05	0,10	0,005	0,004	0,003		resto
No.5	3,5-4,3	0,7-1,3	0,03-0,08	0,10	0,005	0,004	0,003		resto
No.7	3,5-4,3	0,25	0,01-0,02	0,075	0,003	0,002	0,001	0,01-0,02	resto
ZA-8	8,0-8,8	0,8-1,3	0,01-0,03	0,10	0,004	0,003	0,002	---	resto
ZA-12	10,5-11,5	0,5-1,3	0,01-0,03	0,075	0,004	0,003	0,002	---	resto
ZA-27	25,8-28,0	2,0-2,5	0,01-0,02	0,10	0,004	0,003	0,002	---	resto

El cobre y el magnesio son añadidos para producir una mejor combinacih de propiedades, estabilidad y colabilidad. Estas tres aleaciones muestra una dureza superior o equivalente a las aleaciones de aluminio y cobre. Su alta dureza generalmente sirve para mejorar la resistencia al rozamiento.

Tabla # 1	Composición nominal de las aleaciones de zinc.	17
-----------	--	----

Tabla # 2	Comparación de propiedades mecánicas típicas de las aleaciones fundidas.	18
-----------	--	----

Tabla # 3	Composición química de la aleación ZA-27.	22
-----------	---	----

Tabla # 4	Composición nominal y propiedades de los bronces al manganeso.	26
-----------	--	----

Tabla # 5	Composición química de la aleación de cobre UNS C86500.	28
-----------	---	----

Tabla # 6	Ajuste de la composición química de la aleación bronce al manganeso UNS C86500.	39
-----------	---	----

Tabla # 7	Ajuste de la composición química de la aleación de zinc ZA-27.	39
-----------	--	----

Tabla # 8	Resultado de las pruebas de fusión en el proceso de reciclado.	50
-----------	--	----

Tabla # 9	Resultado de las pérdidas y recuperación de zinc en el proceso de reciclado.	51
-----------	--	----

Tabla #10	Resultado del análisis químico cualitativo de los lingotes de zinc reciclados.	52
-----------	--	----

Tabla #11	Resultado del análisis químico cuantitativo de los lingotes reciclados. Hecho en la Espol como en la U. de Guavaouil.	52
-----------	---	----

Tabla #12 Composición de la carga de la aleación bronce al manganeso UNS C86500.	60
Tabla #13 Pérdida en peso del primer intento de fusión de la aleación de cobre UNS C86500.	62
Tabla #14 Pérdida en peso del Segundo intento de fusión de la aleación de cobre UNS C86500.	63
Tabla #15 Pérdida en peso del tercer intento de fusión de la aleación de cobre UNS C86500.	64
Tabla #16 Resultado del ensayo de planta (tercera fusión) de la aleación de cobre UNS C86500.	65
Tabla #17 Comparación entre la composición química obtenida de la aleación de cobre (Tercera fusión) y la composición química de la norma .	66
Tabla #18 Resultado del ensayo de planta (cuarta fusión) de la aleación de cobre UNS C86500.	67
Tabla #19 Resultado del análisis químico de la aleación de cobre (Cuarta fusión).	68
Tabla #20 Composición de la carga de la aleación de zinc ZA-27.	71
Tabla #21 Cantidad de hierro presente en la aleación dependiendo de la proporción de zinc reciclado.	73
Tabla #22 Pérdida en peso de la aleación ZA-27 (Primera fusión).	74
Tabla #23 Resultado del ensayo de planta (primera fusión) de	75

la aleación de zinc ZA-27.

Tabla #24 Comparación de la composición química de la aleación ZA-27 (Primera fusión) entre la obtenida en el laboratorio y la norma.	75
---	----

Tabla #25 Pérdida en peso de la aleación de zinc ZA-27 (segunda fusión).	77
--	----

Tabla #26 Resultado del ensayo de planta (segunda fusión) de la aleación de zinc ZA-27.	77
---	----

Tabla #27 Resultado del análisis químico (segunda fusión) de la aleación de zinc ZA-27.	78
---	----

Tabla #28 Valores de dureza de las aleaciones de cobre y de zinc.	81
---	----

Tabla #29 Resultado del ensayo de tracción.	83
---	----

INTRODUCCIÓN

No **cabe duda** que en general el proceso de reciclar tiene grandes ventajas.

Primero, por el **hecho** que se **está** aprovechando un material de desecho **para** la **obtención** de un **producto útil**, ya sea **para** una u otra **aplicación**.

Por **otro lado** el beneficio **económico** que representa en si dicho proceso, **hace** que **éste** resulte rentable. Y eso sin **contar** con el beneficio **ecológico** que tiene este proceso.

Todo esto **hace** que el proceso de reciclado sea una muy buena alternativa a **considerar para** empresarios e **industriales** que quisieran **invertir** en nuestro **país**.

Enfocando el tema **hacia** nuestro **campo**. Obtener materia prima que proviene de un proceso de reciclado representa una **solución idónea para** la **elaboración** de aleaciones que son de uso **común** en la industria. No **sólo** por lo **económico**, sino que **además dichas** aleaciones fabricadas a **partir de chatarra resulten** de muy buena calidad.

En este trabajo se va a recuperar zinc **mediante** un proceso de reciclado y **el producto** obtenido se lo va a **utilizar como** materia prima **para** la **fabricación** de dos tipos de aleaciones . Las aleaciones a fabricar **deben**

tener características mecánicas de uso industrial, así como también **variedad** de aplicaciones.

Se va a **elaborar** la **aleación** de cobre UNS C86500 **cuya aplicación está destinada** a situaciones donde se requiera una **combinación** de **esfuerzo** con resistencia a la corrosión, es **decir** su uso en general es **para** la **fabricación** de elementos o partes que **estén** en **contacto** con el agua. La **otra aleación** a fabricar es la **aleación** de zinc ZA-27 **cuya** aplicación se dirige a situaciones donde se requieran una muy buena resistencia al desgaste y **además** debido a su **alta** resistencia, inclusive superior a algunas aleaciones de cobre, es utilizado en **muchas** ocasiones **como** un sustituto **para** las fundiciones de **hierro**, aleaciones de **aluminio** y aleaciones de cobre.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS



1.1. ORIGEN DE LA CHATARRA

Para hablar **del origen** de la espuma o escoria de Zinc debemos **necesariamente** hablar **del** proceso de galvanizado, porque es de **ahí** en donde tiene origen este tipo de chatarra .

El revestimiento de Zinc aplicado en **caliente** (galvanizado) es **un** proceso en el **cual** una **capa** protectora de **Zinc** y compuestos de Zinc se adhiere sobre la superficie de hierro y **acero** a fin de protegerlo contra la corrosión **atmosférica** o el contacto con el **suelo**.

La estructura compleja de **las capas** que contiene el revestimiento de galvanizado **varían mucho** en **composición química** y física. Las propiedades **mecánicas** son afectadas por la actividad **química**, **difusión** y el subsecuente enfriamiento. **Pequeñas** diferencias en la temperatura **del baño**, **composición** de **las capas**, tiempo de **inmersión** y la tasa de enfriamiento pueden resultar en **un** cambio significativo en la apariencia y propiedades **del** recubrimiento.

Algunas de las aplicaciones mas **comunes del** galvanizado incluyen estructuras de **acero para Plantas** generadoras de poder, **industria petroquímica**, intercambiadores de **calor**, miembros estructurales de puentes, **alambres, láminas**, telas **metálicas** y muchos **artículos** de forma irregular. Los utensihos revestidos de Zinc no son apropiados **para la preparación** de alimentos, en especial **los alimentos de carácter ácido**.

Los revestimientos de Zinc tienen una expectativa de vida mayor en zonas **rurales** donde el **dióxido de azufre** y otros **contaminantes** industriales son bajos; en cambio la expectativa de vida de la **capa** de Zinc es **menor** en medios industriales donde la **contaminación** es **alta**. De todos modos, el recubrimiento de Zinc o galvanizado es **usado** intensamente en la **industria** porque, **básicamente** no hay **método** de proteccibn disponible mas efectiva y economics.

La limpieza **preliminar** de **los productos metálicos** que se van a **revestir**, la **adición** de **fundentes** a la **superficie del baño**, la **regulación** de la temperatura de iste y el empleo de agentes de **adición** en el metal son **factores** importantes que influyen sobre la calidad **del** recubrimiento obtenido .

Antes de **recubrir** el **producto** en el **baño** de Zinc fundido el material se debe primeramente desengrasar, luego **pasar** al **decapado** y por **último realizar** un tratamiento con **fundentes**. El desengrasado se logra

recurriendo al empleo de disolventes **orgánicos** o **alcalinos**; **mientras** que en el decapado se **utiliza ácido sulfúrico** o **clorhídrico** diluidos a **fin** de **eliminar** la **cascarilla** de **óxido** presente en el metal. El tratamiento con **fundentes** se realiza generalmente con Cloruro de amonio y Cloruro de Zinc, y cuyo **objeto** es **separar** las **trazas** de **óxido** o de sales de hierro y **evitar** la **reoxidación** de la superficie de acero.

La **composición química del** hierro y acero y **aún** la **manera** en el **cual** ciertos elementos tales como **carbono** y silicio **están** presentes, determinan la aptitud **del** metal ferroso **para** el galvanizado y una **marcada** influencia en el **aspecto** y propiedades **del** recubrimiento. Aceros que contienen menos que **el 0,25%** de **carbono**, menos que **0,05%** de **fósforo**, menos que **1,35%** de manganeso y menos que **0,05%** de silicio, individualmente o en **combinación**; son generalmente apropiados **para** el uso de las **técnicas** convencionales de galvanizado.

Efectos de adiciones metálicas al baño de Zinc

La presencia en el **baño** de Zinc de ciertos **métales** pueden afectar **tanto** la velocidad de **aleación** con el hierro o el acero, como el **carácter del** recubrimiento de Zinc **así** producido.

Aluminio.- La **adición** de **0,05** a **0,25%** de **aluminio** (que se **añade** en forma de **una aleación Zn-Al**) se **emplea** intensamente en el **proceso** de **inmersión** de objetos de forma irregular y en el galvanizado de **chapas** que

se va a deformar subsiguientemente. La fluidez superior **del baño** o así **producido** es una ventaja, pues **facilita una penetración** mas completa del **Zinc** en **todas** las **ranuras** y en aquellos **casos** en los que debe funcionar **como agente soldante**; **además sirve como** recubrimiento protector. La **presencia del** aluminio tiene por resultado una **disminución del** espesor del recubrimiento y una **reducción** acentuada de la **capa de aleación**. El **aluminio** en concentraciones **mayores inhibe** apreciablemente la **acción aleadora** entre el Zinc y el acero.

Estaño.- Con el objeto de mejorar el **aspecto** de la superficie y aumentar la **uniformidad** y adherencia **del** recubrimiento, suele ser costumbre **añadir estaño** al **baño** de zinc. El porcentaje de **estaño** en el **baño** no debe **exceder del 1%**.

Cadmio.- La presencia de cadmio en el **baño** de zinc en cantidades superiores al **0,05%** aumenta su **acción corrosiva** con respecto al **hierro** y produce un **recubrimiento** de **características** de **curvado** inferiores. De por **sí**, el cadmio no ataca al acero pero **cuando está** presente en el **baño** de zinc tiende a comunicar un **carácter** granular a la **capa Fe-Zn**.

Antimonio.- La **adición** de **antimonio** disminuye el **tamaño del** floreado **del recubrimiento**, aún en presencia de proporciones **considerables** de plomo. **Cuando** las proporciones de **antimonio** en el **baño** son excesivas **los** recubrimientos tiene un color amarillento.

Formación de espumas.

La espuma consta de **una matriz rica** en zinc en la **cual** hay embebidos **crisales** de compuesto Fe-Zn. Los **análisis** de las espumas **industriales**, o Zinc duro, **revelan generalmente** la presencia de **un 2%** de Fe, por lo que la presencia de **pequeñas** concentraciones de hierro en el **baño resulta** en **pérdidas considerables** de Zinc.

La **fente** principal de **contaminantes** de hierro en **las antiguas instalaciones** de galvanizado que empleaban el decapado con **ácido clorhídrico**, seguido de **un** tratamiento con **fundente** de cloruro de **amonio**, era la **capa** de sales de hierro que permanecía en las superficies de la pieza sometida a tratamiento. En las **fábricas modernas** estas sales se **eliminan** recurriendo a **un** concienzudo **lavado** que sigue al decapado, y la **superficie limpia** se **conserva así** mediante **un** tratamiento fundente con **un 25%** de cloruro de zinc.

El hierro disuelto procedente de la caldera de **galvanizado** o de la propia **pieza** es otra fuente **potencial** de **contaminación**. La **acción** disolvente **del** zinc **fundido** sobre el **acero** aumenta con la **temperatura**, especialmente por encima de 500°C mediante el control de la temperatura **del baño** y el **diseño** adecuado de la caldera y **del** sistema de calentamiento de **baño** a **fin** de evitar la **formación** de puntos calientes, la **disolución** de Fe se **inhibe** en su mayor parte, prolongando la vida de la **caldera** y reduciendo a la vez la **formación** de espumas.

La temperatura de **trabajo** media que se considera mas adecuada **para** el **recubrimiento** de **chapas** es de **450°C**, y de **445 a 465°C** cuando se **trata del** recubrimiento de alambres con zinc.

1.2 QUÍMICA DE LA ESCORIA

La escoria con que se ha realizado el proceso de reciclado proviene, **como** ya se ha mencionado antes, de un proceso de **galvanizado**. **Dicha** escoria es llamada espuma o **zinc** duro y se encuentra flotando en la superficie **del baño**. Su **composición química** es **básicamente zinc** y hierro con **pequeñas** cantidades de otros elementos.

Como lo he mencionado en la **sección** anterior, la espuma de zinc se forma fundamentalmente por la **disolución del** hierro que proviene **tanto** de la caldera **como** de las piezas **metálicas** ; **además** encontramos en la espuma la presencia de ciertos elementos que provienen de **baño** de zinc y que son **añadidos a éste para** mejorar las condiciones **del** recubrimiento.

Se **realizó** un **análisis químico** cualitativo de una **muestra** de zinc reciclado (**lingotes**) **para** poder determinar **los** elementos presentes en la **muestra**. **Para** ello se llevo a **cabo** las **5 marchas analíticas para investigar los** siguientes **metales**: **Plata**, Plomo, **Mercurio**, Bismuto, Cobre, Cadmio, **Arsénico**, **Antimonio**, **Estaño**, Aluminio, Cromo, **Hierro**, **Níquel**, **Cobalto**, Manganeso, zinc, Bario, **Calcio**, Estroncio, Magnesio, **Sodio** y Potasio.



BIBLI
SEI

Estos **metales** se clasifican en 5 grupos :

Pertenecen al primer grupo : **Plata**, Plomo y **Mercurio**; éstos **metales** precipitan con **ácido clorhídrico** diluido.

Pertenecen al Segundo grupo : Bismuto, Cobre, Cadmio, **Arsénico** y **Estaño**; Cstos **metales** precipitan con **sulfuro** de **Hidrógeno** en **ácido clorhídrico** 0.3 M .

Pertenecen al **tercer** grupo : **Aluminio**, **Cromo**, Hierro, Niquel, **Cobalto**, Manganeso y Zinc; éstos **metales** precipitan con **sulfuro** de **hidrógeno** en **un** medio tampon de amoniaco y cloruro de amonio.

Pertenecen al cuarto grupo : Bario, **Calcio** y Estroncio; éstos **metales** precipitan con carbonato de amonio en un medio tampon .

Pertenecen al **quinto** grupo : Magnesio, Sodio y Potasio; éstos **metales** no precipitan con **los** reactivos anteriores y se **investigan particularmente**.

Cada grupo tiene **su respectiva marcha analítica**, que es **un conjunto** de **reglas prácticas** que se **fundamentan** en el conocimiento de las propiedades de **los iones** y tiene por objeto separar de una **manera sistemática** los diversos **iones** constituidos en la **solución problema** (metal o **aleación**) **para** después **proceder** a su **definitivo** reconocimiento .

El resultado de dicho **análisis** reveló la presencia de Zinc, Hierro, **Aluminio** y Plomo. Es posible que **exista algún** otro **elemento** que no **haya** sido detectado en el **análisis** y esto depende de la sensibilidad de **los** reactivos. Los reactivos que **fueron usados** en **esta práctica** pueden

detectar la presencia de un **elemento** en la muestra que **esté** en una **proporción** de hasta 30 mg. o 0.03% ; es **decir**, elementos cuya **proporción** sea inferior a la indicada no eran posibles detectarlos con estos reactivos.

Una vez determinado los elementos presentes en la muestra de Zinc, se **realizó un análisis químico cuantitativo para poder determinar la proporción** en que se encuentran esos **elementos**. Dicho **análisis** se lo **efectúa** de dos **maneras**; una por el **método volumétrico** y el otro vía **Absorción atómica**.

El resultado de estos **análisis** mostró zinc en una proporción media del 98%. La presencia de **hierro** fue de 0.55% aproximadamente. **Plomo** en un promedio de 0.16%. **Aluminio** en 0.20%. **Además** se encontraron **Antimonio** en un promedio de 0.07% y **Cadmio** en un 0.02% . El **detalle** de estos resultados se muestran en la tabla # 11 de la **sección 2.3** .

1.3 PROCESO DE RECICLADO EN LINGOTES

El **proceso** de reciclado en lingotes de la espuma o escoria de zinc consta de tres **fases** que son :

Primero, **selección del tipo** de espuma. En esta **fase** se **clasifica** la escoria en dos **grupos**; la una en un **tipo** de espuma granular o no compacta, mezclada con **bastante** cantidad de tierra. La otra en espuma **compacta** que aunque **también presenta** tierra en **menor proporción** que la anterior.

La segunda fase es el proceso de **fusión**, en donde se pesa la carga que se va a colocar en el crisol (**dicha** carga ya ha sido previamente clasificada). Luego se **procede** a prender el horno y se espera unos 20 **minutos** hasta que el crisol y su contenido **hayan alcanzado** unos 650°C aproximadamente. Se apaga el horno. Cabe **indicar** que durante esta **fase** de fusion la tierra se separa **del** metal (zinc) y Cste se **deposita** en el fondo **del** crisol mientras que la tierra y **basura** se queda en la superficie **cubriendo** al metal fundido. **Además** es muy importante mover **continuamente** la carga de **tal manera** que **todo** el zinc **líquido** se vaya depositando en el fondo y no quede atrapado entre las **capas** de tierra

Finalmente la Tercera fase **consiste** en la **separación** de tierra y **tratamiento** de la colada con **fundente**, operaciones que se realizan con el crisol **fuera del** horno. Con una **varilla** en cuyo extremo tiene una plancha **soldada** a **manera** de cuchara procedemos a **sacar** las **capas** de tierra que hay en el crisol.

Una vez que la mayor parte de la tierra ha sido **retirada** y se puede **observar** el zinc fundido, se **procede** a agregar a la colada cloruro de amonio **como** fundente. La cantidad de fundente **usada** en el proceso **corresponde al 1%** de la carga.

El cloruro de amonio es ampliamente **utilizado** en los **procesos** de galvanizado en donde es **usado para** quitar la herrumbre (**óxido**) a las

láminas de hierro, de tal **manera** que el acabado **del** recubrimiento sea de buena **calidad**.

El **agregar** fundente a la colada sirve **para limpiar** el **caldo**, protegerlo contra la **oxidación** y separar impurezas; **como** resultado de esto nos queda una escoria que es retirada antes de **proceder** a **colar** el zinc en probetas.

1.4 ALEACIONES QUE PUEDEN USAR ALEACIÓN MADRE

Zn-Fe.

En **muchas** ocasiones cuando vamos a fabricar una aleacion, **primeramente fundimos** una aleacion madre, es **decir**, un tipo de aleacion cuyos **componentes sean** parte de la aleacion final que se desea obtener.

Como se sabe que **del** resultado **del reciclaje** se obtuvo lingotes de zinc con **pequeños** porcentajes de hierro, entonces podemos **decir** que se obtuvo un tipo de aleacion madre Zn-Fe. Luego, vemos a que **aleaciones** le conviene usar **éstos** tipos de lingotes **como** materia prima **para** su **fabricación**. Analizando las aleaciones no ferrosas que contengan **gran** cantidad de zinc con **pequeños** porcentajes de hierro; nos encontramos con los Bronces al Manganeso, todos desde el C86200 al C86800 sin **exepción**, **poseen** una gran cantidad de zinc que oscila **entre** e127 al 39% y **pequeñas** cantidades de hierro que van **del** 0.5 al 3% .

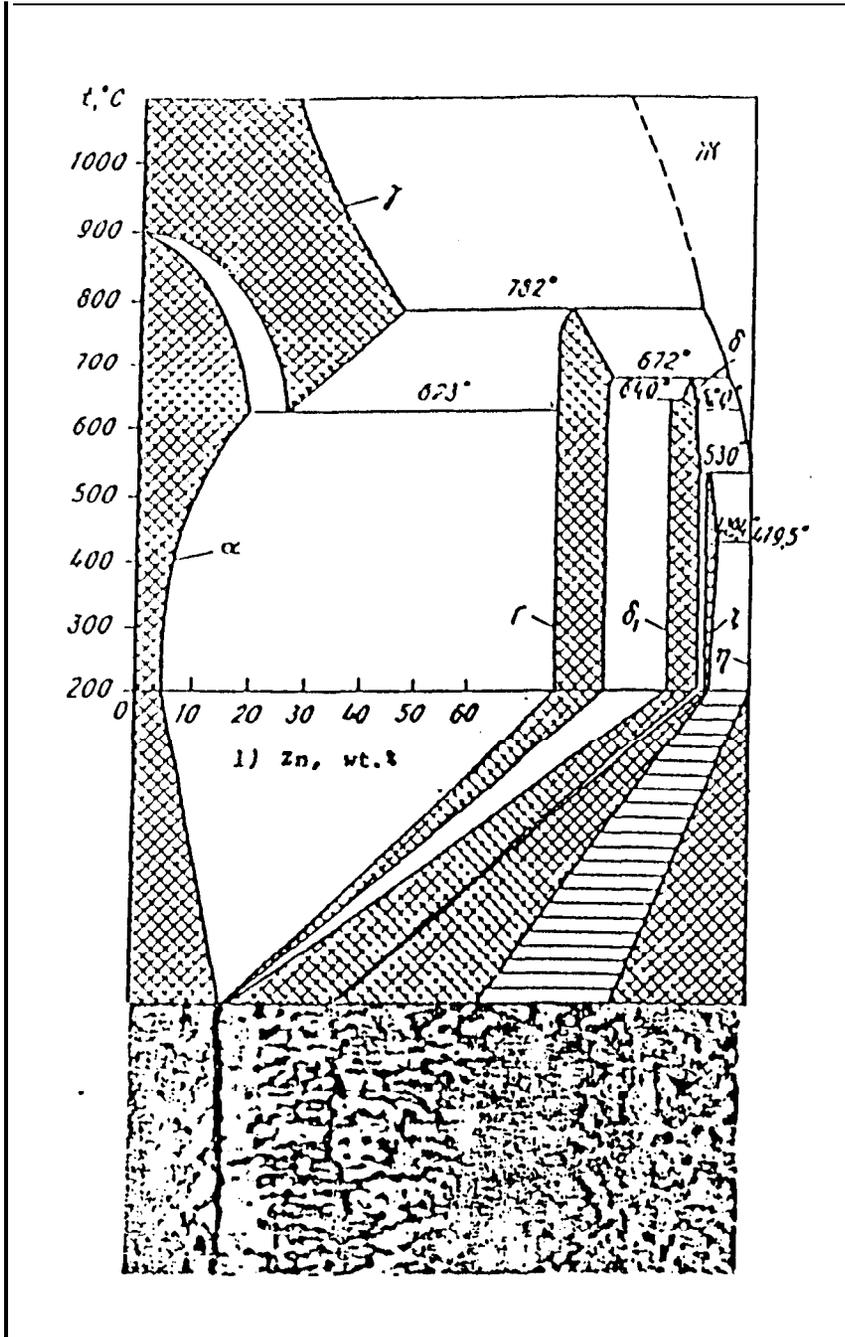
Microestructuras de las Aleaciones de Fe-Zn

Un contenido de hierro de tan sólo unas **cuantas centésimas** por ciento es suficiente **para** que la estructura **del** zinc quede de tal modo afectado, que **dicha modificación** se aprecie al **microscopio**.

Varios investigadores **han** investigado el sistema **binario** Fe-Zn. El **diagrama** de Fe-Zn que se muestra en la **figura 1.1** fue propuesto por **Raynor** y en su opinion representa **una recopilación** de la mayoría de las **investigaciones** hechas sobre **éste** trabajo.

Examinando el **diagrama** mostrado en la figura 1.1, observamos que el **sistema** Fe-Zn contiene las siguientes **fases** : α , γ , Γ , δ , ϵ , ζ , η .

La **fase** alpha (**solución sólida** de zinc en hierro α) existe en concentraciones bajas de **zinc**. A bajas temperaturas (aproximadamente 250°C) la solubilidad **del** zinc en la fase α es **del** 4.5% , con el **incremento** de la temperatura la solubilidad **del** zinc en la fase α se incrementa y a 623°C llega al 20% . La fase α tiene **un** arreglo **cúbico** centrado en el cuerpo con dos **átomos** en la **celda** unitaria.



A 910°C la fase α cambia a una solución sólida γ , con un arreglo cúbico centrado en las caras. La solubilidad del zinc en esta fase a 782°C es del 46%. La solubilidad de la fase γ decrece con la temperatura, y a una temperatura correspondiente a la transformación eutéctica (623°C) la solubilidad del zinc cae al 27.5%.

Como resultado de la transformación eutéctica la fase γ se descompone en la fase mixta $\alpha+\Gamma$. Una muestra típica de la estructura $\alpha+\Gamma$ es mostrada en la figura 1.2, en donde la zona clara corresponde a la solución sólida α y la oscura a la fase Γ .

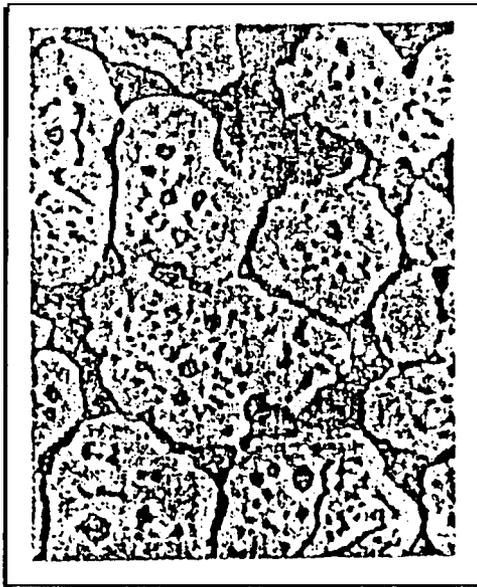


Figura 1.2

MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN Fe-Zn (55%
FE+45% ZN) EN LA REGIÓN HETEROGÉNEA $\alpha+\Gamma$.
ENFRIADO RÁPIDAMENTE DESDE 700°C. 200X

La fase Γ es un compuesto **intermetálico** que tiene un arreglo **cúbico** centrado en el cuerpo con 52 **átomos** en la celda unitaria. Esta **fase** tiene **una** gran dureza en el sistema Fe-Zn y probablemente gran **fragilidad**. En la fase $\delta 1$ se observa un **incremento** en la **concentración** de zinc. Esta **fase** existe en un **rango** de **concentración** entre 88.5 y 93% . La fase $\delta 1$ tiene un arreglo hexagonal con 550 **átomos** en la celda unitaria.

La siguiente fase es la fase ξ que existe en una **concentración** del 94% de **Zn** . A diferencia de su **baja** dureza esta fase es muy **frágil** y su **explicación** se debe a su estructura .

Finalmente, la fase η (**zinc casi puro**) aparece en el **diagrama** de Fe-Zn con una **alta** concentracibn de zinc, **toma** la forma de **solución sólida** de hierro en zinc. La maxima **solubilidad** del hierro en zinc es de 0.008%, pero incrementando la temperatura a 400°C, la solubihdad sube a 0.028%. La fase η tiene un arreglo hexagonal **compacto** con dos **átomos** en la celda unitaria.

1.5 ESPECIFICACIONES DE LA ALEACIÓN ZA-27

El **desarrollo** de una nueva famiha de Aleaciones a base de Zinc coladas por **gravedad han** tornado gran importancia en el mercado industrial. Tres miembros de esta **familia** de aleaciones son identificadas ampliamente en la **industria** como ZA-8, ZA- 12 y ZA-27.

La aleación ZA27 es un material que ofrece una alta resistencia y elongación así como también un gran rendimiento. Tiene una muy buena maquinabilidad y muestra una aplicación excelente para cojinetes o en situaciones que requieren resistencia al desgaste. Es fundido generalmente en moldes de arena.

En general las aleaciones a base de Zinc tienen una buena resistencia a la corrosión atmosféricas normales, en soluciones acuosas y cuando son usados con productos de petróleo. La tabla # 2 nos muestra una comparación de las propiedades mecánicas de las aleaciones fundidas

TABLA # 2

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DE LAS ALEACIONES FUNDIDAS.

Alloy and pour form(s)	Ultimate tensile strength		0.2% offset yield strength		Elongation, % in 50 mm (2 in.)	Hardness, HR	Impact strength		Fatigue strength	
	MPa	ksi	MPa	ksi			J	ft-lbf	MPa	ksi
Die alloys										
% Zn (D)	281	41	...	...	10	82	58(c)	43	47.6	6.9
% Zn (H)	331	48	...	...	7	91	65(c)	48	56.5	8.2
% Zn (I)	281	41	...	...	11	80	58(c)	43	...	...
ZA4 (S)	248-276	36-40	200	29	1-2	80-90	20(c)	15	...	...
ZA4 (P)	221-255	32-37	207	30	1-2	85-90	...	...	51.8	7.5
ZA4 (H)	372	54	290	42	6-10	95-110	42(c)	31	...	...
ZA12 (S)	276-317	40-46	207	30	1-3	90-105	25(c)	19	11.5	15
ZA12 (P)	310-345	45-50	207	30	1-3	90-105	...	...	...	...
ZA12 (H)	400	58	317	46	4-7	95-115	28(c)	21	...	...
ZA27 (SS)(A)	400-440	58-64	365	51	3-6	110-120	47(c)	35	17.5	25
ZA27 (P)	421-427	61-62	365	51	1	110-120	...	...	...	...
ZA27 (H)	421	61	365	51	1-3	105-125	...	...	2	...
Nonferrous alloys										
Al (S)	185	27	124	18	2	70	5(c)	4	69	10
Al-16 (P)	262	38	185	27	5	80	11(c)	8	90	13
Al (H)	325	47	159	23	3.5	80-85	4(c)	3	138	20
Copper alloys										
(C7060) brass (S)	255	37	117	17	30	60	15(c)	11	76	11
(C7060) bronze (S)	490	71	191	28	30	98	42(c)	31	145	21
(C7060) bronze (S)	240	35	124	18	20	65	8(c)	6	110	16
(C7060) bronze (S)	240	35	124	18	20	60	15(c)	11	90	13
Cast Irons										
Cast 30 gray iron (S)	214	31	124	18	...	210	...	...	97	14
ductile iron (S)	345	50	221	32	10	110-156	54-80(c)	40-65	172-207	25-30

wh die cast; S, sand cast; P, permanent mold cast; (H) As cast; (c) Unnotched Charpy; (d) Notched Charpy; (e) Izod

El **rango** de temperatura **para** la **fundición** de las aleaciones de Zinc van de 400 a 440 °C. Generalmente, la mas baja de este **rango** es **usado para fundiciones** con secciones gruesas mientras que las mas alta **del rango** es **para** secciones delgadas.

Control de la composicibn

Las aleaciones de Zinc son sensibles a la **variación** en la **composición** y al nivel de impurezas presentes - generahnente mas que las aleaciones de **aluminio**- sin embargo hay **límites** permisibles de la **proporción** de los elementos **aleantes** e impurezas, es por eso que se debe conocer la **composición** de la chatarra o **del material usado para** la **fabricación** de las aleaciones de Zinc.

El estricto control de la **composición química** es **absolutamente esencial para** impedir **alguna** posibilidad de **corrosión** intergranular, cambios **dimensionales** o ptdridas en **las** propiedades **mecánicas**. A continua&n se **hablará** de la **influencia** que tienen **los** elementos **aleantes** en las aleaciones de Zinc.

El **aluminio** es **añadido** al Zinc **para** **reducir** el **tamafio** de grano, **aumenta** la resistencia y dureza, **así como también** **minimiza** el **ataque** sobre el metal permanente, sobre la **matriz** y todas **las partes férreas** con **las cuales** el metal **líquido** entra en **contacto** evitando de esta **manera** que

la aleación **incrementa** la **proporción** de hierro por encima de lo admisible. **Además agregar aluminio** mejora la fluidez de la aleación y por lo **tanto facilita** la **operación** de **colado**. Un porcentaje demasiado alto de este **elemento** afecta considerablemente la resistencia al **impacto**.

El Magnesio es **añadido** en la aleación **para minimizar** la **corrosión** intergranular causado por la presencia de **impurezas**. Cantidades excesivas de magnesio **reducen** la fluidez de la **aleación** tomando mas **difícil** su **colado** por **gravedad**; **además** incrementa la dureza y reduce la ductilidad.

El cobre al **igual que** el magnesio **minimiza los** efectos de las impurezas e incrementa la dureza y resistencia de la **fundición**. Un alto porcentaje de cobre reduce la estabilidad dimensional y propiedades de la **aleación**.

El hierro representa una **impureza** en la aleación, cantidades superiores al 0,1% tiene un **pequeño** efecto **perjudicial** puede contribuir a problemas en el maquinado.

Níquel, Cromo, Silicio y Manganeso no son nocivos en cantidades inferiores a su **límite** de solubilidad (0,02% Ni; 0,02% Cr 0,035% Si y 0,5% Mn) **cuando** estos **metales** exceden sus respectivos **límites** entonces **forman** compuestos **intermetálicos** con el **Aluminio** y pueden ubicarse en la superficie de la **fundición**.

Plomo, Cadmio y **Estafío** en proporciones superiores a las admisibles pueden **causar** grietas o deformaciones que **podrían ocurrir** dentro de un **año**.

Propiedades de la Aleación ZA-27

Las propiedades que caracterizan a esta **aleación** son:

- **Composición química:** Ver tabla # 3

- Resistencia a la Tensión	· 400 - 440 Mpa.	58 a 64 Ksi
- Resistencia a la Fluencia	· 365 Mpa.	53 Ksi
- Elongación	3 a 6 %	
- Dureza	110 a 120 HB	500 Kg, de carga , bola de 10 mm
- Modulo de Elasticidad	· Tensión 145 Gpa.	
- Resistencia a la fatiga	170 Mpa. (25 Ksi.)	Viga rotatoria en 10x10 ciclos
- Resistencia al impacto	15 J (11Ft-lb)	Ensayo Charpy
- Densidad	5,01 Mg/m³	0,181 lb/in³ a 20 ° C
- Conductividad Eléctrica	Volumétrica 28%	de IACS en 20 °C
- Propiedades Térmicas :	Temp. líquidus	492°C, (919°F)
	Temp. Solidus	378°C, (714°F)

	Coef. de Expans. Térmica lineal	25,9 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{K}$; de 20 a 100 $^\circ\text{C}$
- Microestructura	Aluminio primario , rico en dendritas a rodeado por	eutéctico $\alpha + \beta$
- Desgasificante	Ninguno	

TABLA # 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN ZA-27

Elemento	Mínimo(%)	Máximo(%)
Aluminio	25	28
Cobre	2	2,5
Magnesio	0,01	0,02
Zinc	-----	resto

Precauciones en la **fundición** .- Es necesario tener **mucho** cuidado en **cuanto al límite** de la **composición química**. Esta **aleación deberá** ser **fundida** en crisol de **arcilla**, grafito, **cerámica** o **carburo** de silicio, mejor que en crisoles de hierro.

Aplicaciones.- Se **usa** principalmente **para** fundiciones en secciones delgadas que requieren **esfuerzos mas** altos que las aleaciones ZA-12. Se **debe** evitar usarla en condiciones **altamente corrosivas** o en medios **ácidos**.

1.6 ESPECIFICACIONES DE LA ALEACIÓN UNS C86500

Las aleaciones a base de cobre son comunmente **clasificadas dentro** de **tres** grupos basados en el **rango** de **solidificación** - un factor muy importante **para** su **fabricación** y sus sistema de **colado**-.

Grupo 1: A este grupo pertenecen las aleaciones que tienen un **estrecho rango** de **solidificación**, o un **rango menor** que **50°C** **entre** el **punto** donde empieza la **solidificación** (temperatura **liquidus**) y donde Csta termina (**temperatura solidus**). Las aleaciones que pertenecen a este grupo son **los** bronce al aluminio (C95200 - 95800), **latones** amarillos (C85200 - 85800), bronce al **manganeso** (C86100 - 86800), cobre y **romo-cobre** (C81100 y C81500).

La **causa del** estrecho **rango** de **solidificación** se debe a la presencia de **grandes** cantidades de elementos **como** Zinc, aluminio, **manganeso**, o **pequeñas** cantidades de **romo**.

Todos estos elementos son oxidantes y **forman** una **capa** insoluble de **óxido**; por lo **tanto** es necesario que el vaciado y el sistema de **colado para** estas **clases** de aleaciones debe hacerse con **mucho cuidado** y rapidez a fin de **evitar** turbulencias, de lo contrario **causaría capas** de **óxido** que **atraparía** inclusiones en la **fundición**. Estas **inclusiones causan** un **marcado** deterioro en las propiedades **mecánicas**.

El **cobre** puro es **un** ejemplo típico de este grupo ya que puede absorber **grandes** cantidades de **oxígeno bajo** condiciones turbulentas lo **cual hace** necesario **utilizar desoxidantes**.

Grupo 2: Estas aleaciones tienen un **rango** de **solidificación intermedio**, es **decir** que el **rango** entre la temperatura **liquidus** y **solidus** es de 50 a 111 °C (90 a 200°F). Las aleaciones de este grupo no **forman** grandes **capas** de **óxido**, sin embargo si el sistema de vaciado es muy turbulento se **corre** el riesgo de que se produzca una gran **cantidad** de escoria .

A este grupo pertenecen **los bronces** y latones al silicio (**C87200-87600**) y las aleaciones cobre-niquel (**C96200-96600**). Es conocido que en las aleaciones que contienen silicio la presencia de plomo incrementa la tendencia a la **formación** de inclusiones de escoria.

Grupo 3: Este tipo de aleaciones se **caracteriza** por su alto **rango** de solidificación, el **cual** se **encuentra** sobre los 111°C (200°F) y a **menudo**

bajo los 167°C (300°F). La **aleación** típica de este grupo son los broncees al **estaño** la **cual** tiene una fase **rica** en **estaño** y que es la **última** en solidificar.

Además de los broncees al **estaño** (C90200 - 91700) **también** pertenecen a **este** grupo los latones rojos con plomo (C83600 - 84200), latones semirojos con plomo (C84400 - 84800), **broncees** al **estaño** con plomo (C92200 - 92700) y broncees al **estaño** con alto contenido de plomo (C92800 - 94500). **Todas estas** aleaciones tienen una baja tendencia a oxidarse y son **usualmente desoxidadas** con fosfuros, **los** residuos de fosfuros inhiben la **formación** de **capas** de **óxido durante** el vaciado debido a la **combinación** con oxígeno **libre**.

Broncea al Manganeso

El **término** “broncees al **manganeso**” dado a este tipo de aleaciones **causa** **algún** tipo de **confusión** debido a que la **cantidad** de manganeso **presente** en la **aleación** es muy **pequeña**, por **esta razón** estas aleaciones son mejor conocidas **como** “hones **amarillos** de **alta** resistencia”. **Estas** aleaciones encuentran **su aplicación** en **situaciones** donde se requiere **una resistencia** relativamente **alta** en combinaciñ con una buena resistencia a la **corrosión** y un **costo** moderado. La **tabla # 4** muestra la **composición** nominal y **ciertas** propiedades de **los latones amarillos** de **alta** resistencia

TABLA # 4
COMPOSICIÓN NOMINAL Y PROPIEDADES DE LOS
BRONCES AL, MANGANESO.

	<u>Nomlnel Composition</u>			
	<u>CO6200</u>	<u>C86300</u>	<u>C86400</u>	<u>C86500</u>
Copper	65	62	58	58
Aluminum	4	6	1	1
Iron	3	3	1	1
Manganese	3	3	0.5	0.5
Lead	—	—	1	—
Zinc	25	26	38.5	39.5
<u>Minimum Mechanical Properties</u>				
Tensile str.	90 ksi	110 ksi	60 ksi	65 ksi
Yield str.	45 ksi	60 ksi	20 ksi	25 ksi
Elongation	18%	12%	15%	20%
<u>Freezing Range</u>				
Fahrenheit	1725-1650	1693-1625	1616-1503	1616-1503
Celsius	94 I-099	923-885	880-862	880-862
*Copper Development Association. <i>Standards Handbook</i> . Part 7 (1974).				

Cuando el contenido de Zinc en las aleaciones Cu-Zn es incrementado más allá del 32,5% (como en las aleaciones C86400 y C86500) la microestructura de estas aleaciones empieza a mostrar un incremento considerable de la segunda, fase beta (β). Dicha fase β tiene significativamente gran dureza y resistencia (baja ductilidad) que la fase Alpha (α).

Otros elementos presentes, tales **como** el aluminio, tienen una tendencia **fuerte** a **promover** la **formación** de la **fase β** cuando se **añaden** a las aleaciones Cu-Zn. Por ejemplo, la **adición** de 1% Al **tiene el** mismo efecto que **agregar** 6% Zn; por lo **tanto el aluminio** tiene una equivalencia de Zinc de 6.

En las aleaciones C86200 y C86300 que **tienen** un contenido de Zinc relativamente **bajo** se muestra una microestructura con **poco** o nada de **fase α** ; esto se debe al alto contenido de aluminio (4 al 6%) y con la **equivalencia** mencionada en el **párrafo** anterior se tiene un contenido de Zn efectivo de **50 al 55%**. El alto contenido de fase **β** **hace** que la estructura tenga una alta resistencia **mecánica**.

El **Hierro** es esencialmente insoluble en estas aleaciones y es **añadido** principalmente **para finar** el tamaño **del** grano. Es importante **para fundiciones** que contienen secciones **gruesas** y **delgadas**. La ausencia de Fe en **fundiciones** de **piezas** de secciones gruesas en el **cual** el **enfriamiento** es **lento** y por lo **tanto** conlleva al **desarrollo** de **grano** grueso el **cual** trae **como** consecuencia la **reducción** de la resistencia **mecánica**.

El Manganeseo en estas aleaciones incrementa la resistencia sin **reducir** la **ductilidad**. Puede **también servir** como una forma de **desoxidante** y mejorar la **características** de **fundición** de estas aleaciones.

Propiedades de la aleación UNS C86500

Las propiedades que caracterizan a esta aleación son:

- **Composición química** : (Ver en la Tabla # 5)

TABLA # 5
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN DE
COBRE UNS C86500

Elemento	Mínimo (%)	Máximo (%)
Cobre	55	60
Hierro	0,4	2,0
Aluminio	0,5	1,5
Manganeso	-----	1,5
Plomo	-----	0,4
Estaño	-----	1,0
Níquel	-----	1,0
Zinc	-----	rest0

- Resistencia a la **tensión** : 490 Mpa. (71 Ksi)

- Resistencia a la Fluencia : 195 Mpa. (28 Ksi)

- **Elongación** : 30% en 50mm o 2 in.

Estas tres propiedades se muestran en la figura 1.3

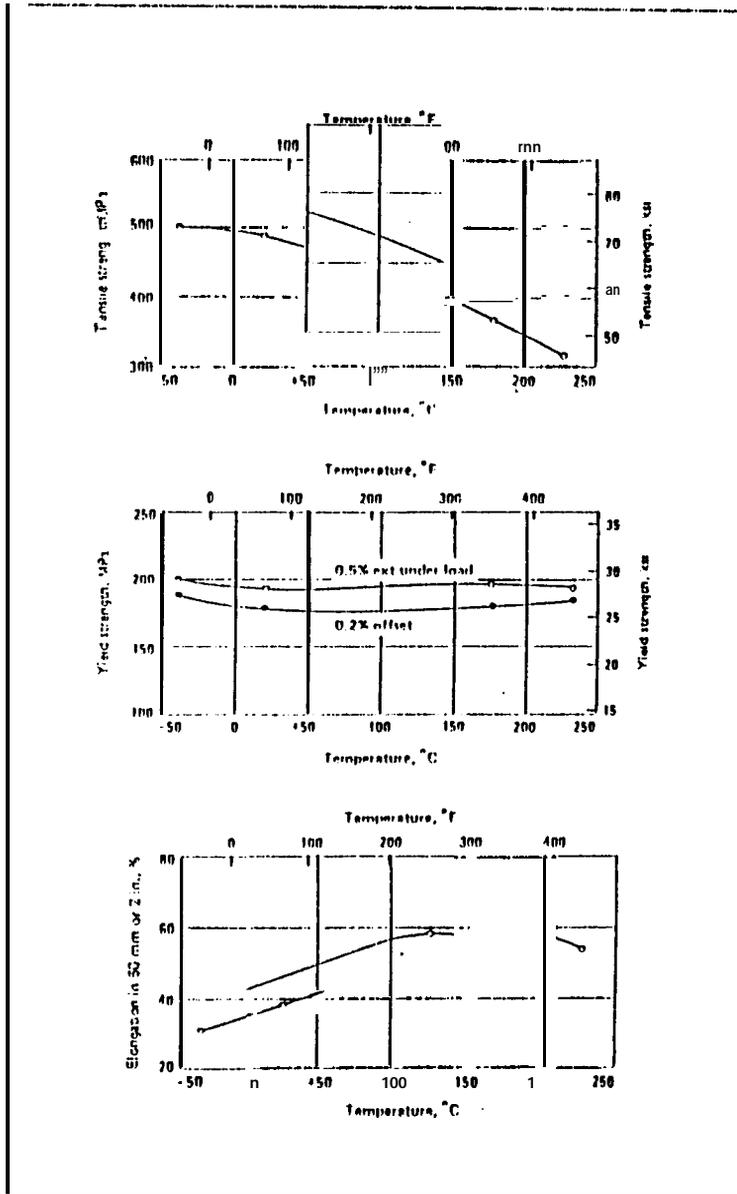


Figura 1.3

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS ENSAYOS DE
TENSIÓN DE LA ALEACIÓN C8650

- **Dureza** : 98 HB (ver **figura 1.4**)
- **Módulo de elasticidad** : 105 Gpa. (15x10 Psi)
(ver **figura 1.5**)
- **Resistencia al impacto** : 43 J (31 **ft-lb.**) Ensayo **charpy** (ver **figura 1.6**)
- **Resistencia a la Fatiga** : 145 Mpa. (21Ksi) en 10x10 ciclos
- **Densidad** : **8,3 Mg/m³(0,299 lb/in³)** en 20°C
- **Conductividad Eléctrica** : 20,5 % IACS en 20°C
- **Propiedades térmicas** : Temp. **Líquidus** 880°C (16 16°F)
Temp. **Solidus** 862°C (1583°F)
Coef. de **Expansión térmica** lineal
21,6 μm/m°K, de 21 a 93°C
Calor específico 373 J/Kg°K en 20°C
Conductividad térmica 87W/m°K en 20°C
- **Características de fabricación** : **Maquinabilidad** 26% de C36000
Temp. de Recocido 260°C (500°F)

Aplicaciones: Su **aplicación está destinada** a situaciones en donde se requiere una **combinación** de esfuero con resistencia a la **corrosión** y un **costo moderado**. Tal es el **caso** de engranajes, **hélices** de **barcos** y en general **otras partes** que **estén** en **contacto** con **agua salada** y duke.

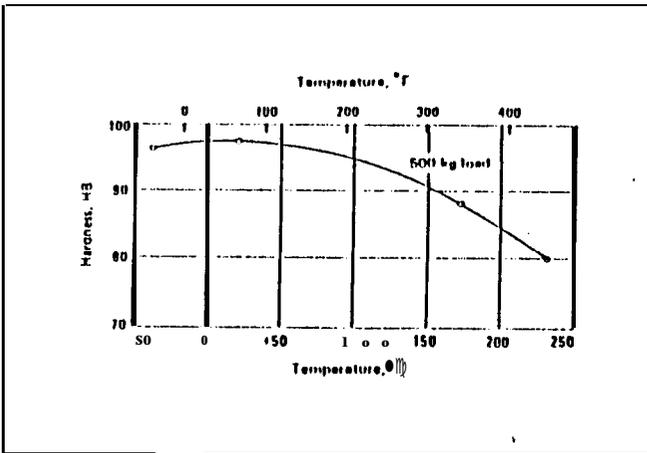


Figura 1.4

GRÁFICO DE LA DUREZA (BRINELL) VS.
TEMPERATURA EN LA ALEACIÓN UNS C86500

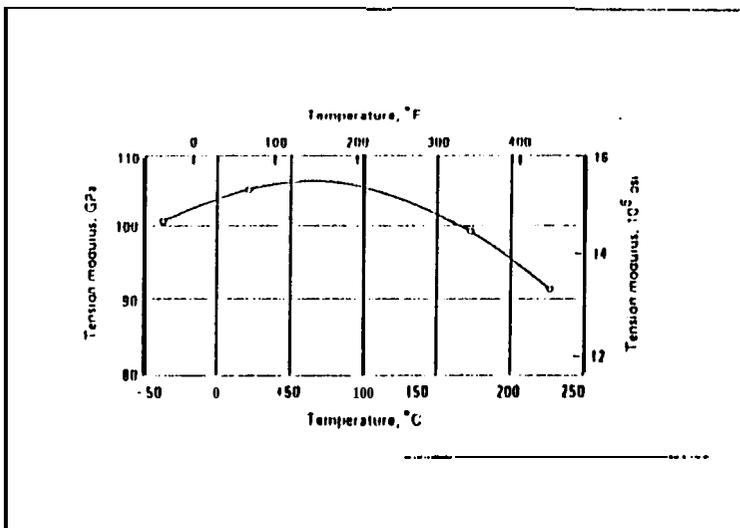


Figura 1.5

GRÁFICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD VS.
TEMPERATURA EN LA ALEACIÓN UNS C86500

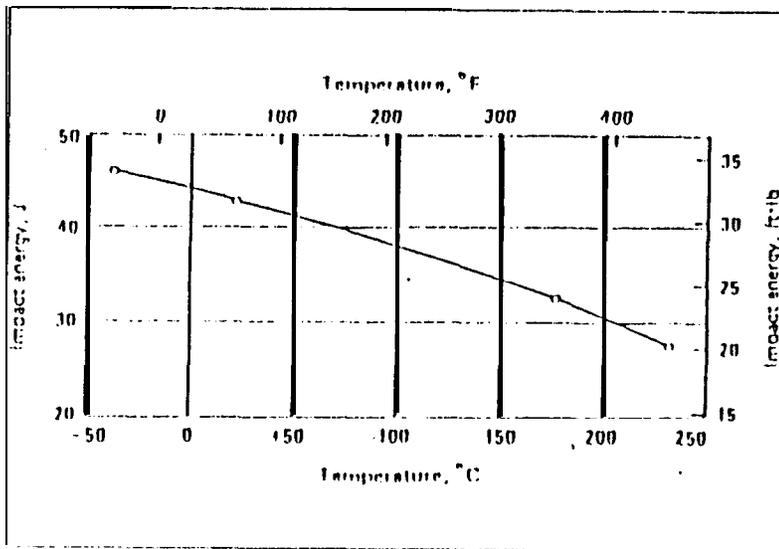


Figura 1.6

**GRÁFICO DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO VS.
TEMPERATURA EN LA ALEACIÓN UNS C86500**

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVO Y METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN

El objetivo **del** presente trabajo es la' de fabricar dos tipos de aleaciones, la una en base cobre y la otra en base zinc. Aleaciones **cuyas características mecánicas sean** de uso industrial y **además** de tener **un costo de fabricación** moderado.

Para tal propósito se **realiza** primeramente **una recuperación** de zinc mediante escoria que proviene de **un** proceso de **galvanizado**. **Dicha** escoria o espuma es sometida a **un** proceso de reciclaje en donde se obtienen lingotes de **un** tipo de **aleación madre** Zn-Fe, esto se debe a la presencia de pequeñas **cantidades**, aunque considerable, de hierro en **su composición**.

Entonces contando con Cste tipo de **materia** prima se ha escogido fabricar la **aleación** de cobre UNS **C86500** y la **aleación** de zinc **ZA27**, las **cuales** son sometidas a **un** proceso de **homologación** mediante pruebas de laboratorio **para** certificar **su** calidad.

En **cuanto** a la **metodología** a **utilizarse** debemos considerar **primero** las **demás materias primas** ha usarse porque de ello depende la calidad **del producto**.

Por ejemplo el cobre y el aluminio provienen de alambres conductores los cuales mediante un proceso de **fusión** se transforman en **barras** o en lingotes de **éstos** elementos garantizando **así** su pureza. Otra de las **materias primas** que se **usan** son **los ánodos** de sacrificio utilizadas en las embarcaciones marinas; este tipo de **chatarra** al igual que **los alambres** conductores se **someten** a un proceso de lingoteado; dichos lingotes tienen una pureza de Zinc de **99,9%**. La forma de obtener **los lingotes tanto** de **aluminio**, cobre y zinc se muestra en la figura 2.1

El **hecho** de **utilizar ánodos** de sacrificio **como materia** prima, se debe a que **para fabricar** la **aleación ZA-27** es necesario que el hierro se encuentre por **debajo del 0,1%** y la cantidad **del** hierro presente en **los** lingotes que provienen **del** reciclado de la escoria de zinc **está** aproximadamente en un **0,65% razón** por la **cual** se ha mezclado en una **relación** de 6 a 1 **los** dos tipos de lingotes de Zinc (en mayor **proporción lógicamente** el que proviene de **los ánodos** de sacrificio) de **tal manera** que el porcentaje de hierro caiga a un **nivel** de impureza y no perjudique la calidad de la **aleación**. En cambio con la **aleación UNS C86500** no es necesario **hacer dicha** mezcla sino que se utiliza sin **ningún problema** la “**aleación madre**” Zn-Fe de **los** lingotes reciclados .

Los **demás** elementos **como** el magnesio, **estaño**, plomo y níquel se encuentran en el mercado en estado **puro; mientras** que el manganeso y el hierro se lo **utilizado como** ferromanganeso.

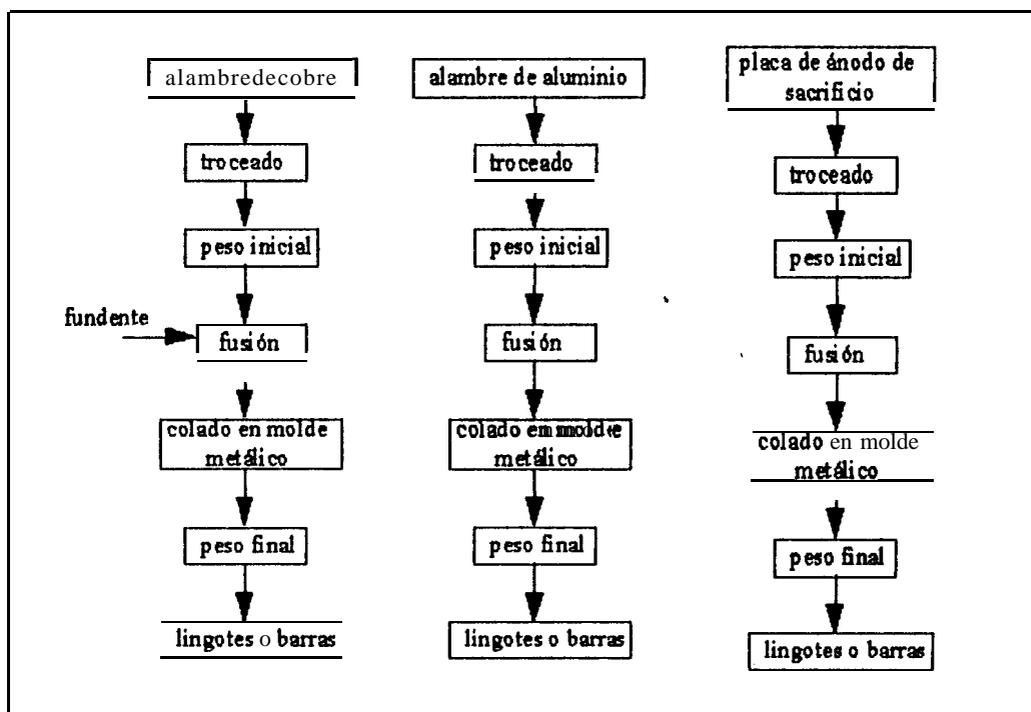


Figura 2.1

**DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE LINGOTES DE
COBRE, ALUMINIO Y ZINC A PARTIR DE
CHATARRA.**

Cabe **señalar** que lingotear cobre no es **tarea fácil** debido a su estrecho **rango de solidificación**, es por ello que el **colado** se lo debe de **hacer rápidamente** ya que de lo contrario se **corre** el riesgo de que se solidifique antes de terminar la **operación**. **Además** el cobre en estado **líquido**

forma **fácilmente capas** de **óxido** y escoria **haciendo** necesario el uso de fundentes y desoxidantes. La **pérdida** en peso durante esta **operación fue** de aproximadamente 30%. En cambio al **lingotear** aluminio y **zinc** es **mucho** mas **fácil** debido a su amplio **rango** de **solidificación**; **además** no son necesario fundentes ni **desóxidantes** y la **pérdida** en peso no excedib de un 15%.

La metodología a seguirse se basa **fundamentalmente** en dos partes que son:

1.- **Proceso** de reciclado **para** la recuperacibn de **zinc**.

2.- **Elaboración** de las **aleaciones**

- **Certificación** de **calidad** por medio de pruebas (**tanto** de **planta** como de laboratorio).

PROCESO DE RECICLADO **PARA** LA **RECUPERACIÓN** DE ZINC

Para el proceso de reciclado se **hacen varias fundiciones** (en total 6) variando el tipo de muestra es **decir**, dos **fundiciones** usando espuma **del** tipo granular, otras dos con espuma **del** tipo **compacta** y **finalmente** dos mixtas (granular y **compacta**). Se lo **hace** de esta **manera para** tener **una** mayor cantidad de datos y un mejor juicio de **cuanto** realmente se puede recuperar y si es **conveniente** o no **económicamente** obtener zinc **mediante** este proceso.

A continua&n se **muestra** la metodología **usada** en el proceso de reciclado en el siguiente **diagrama** de bloque.

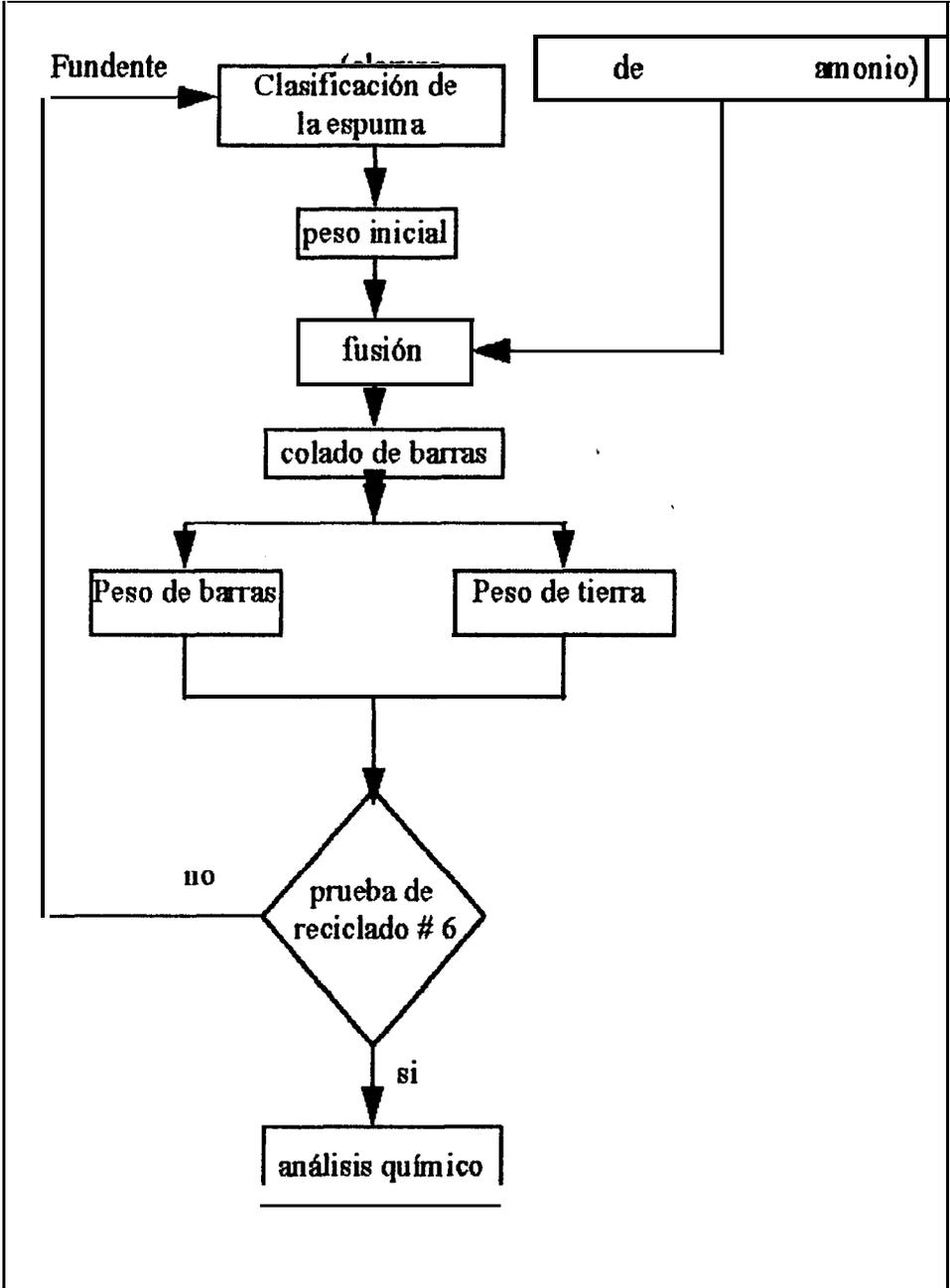


Figura 2.2
DIAGRAMA DE PROCESO DE RECICLADO DE
ESCORIA DE ZINC

Como muestra el **diagrama** primeramente se clasifica la escoria 0 espuma de zinc en granular, **compacta** 0 mixta; luego se pesa el material y se realiza el proceso de fusión, al **término** de Cste y antes de **colar** las **probetas** se agrega el **fundente** de cloruro de amonio en una cantidad **aproximadamente** al 1% de valor de la **carga**.

Finalmente se pesan **tanto los lingotes obtenidos como** la tierra y basura que sale **del** crisol, se realiza esto con el fin de **hacer** un posterior **análisis** de **recuperación** de zinc. Se repite el proceso **5 veces** mas y al **final** se extrae una muestra de las **barras (virutas)** utilizando un tomo. A **dicha** muestra se le realiza un **análisis químico tanto cualitativo como** cuantitativo **para** tener conocimiento de **los** elementos presente en las **barras** y la **proporción** en que se encuentran.

ELABORACIÓN DE ALEACIONES

Primeramente debemos considerar la **composición química** que establece la **norma** de **cada** una de las **aleaciones** y que se muestran en la tabla 3 y 5; **como** se puede apreciar nos dan valores porcentuales **máximos** y **mínimos** de **algunos** elementos en las dos aleaciones de **tal manera** que se debe **realizar** un ajuste en la **composición química**. Dichos ajustes se muestran en **las** siguientes tablas y cuyos valores se **usarán para** obtener las **aleaciones** mencionadas.

TABLA # 6
AJUSTE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA
ALEACIÓN BRONCE AL MANGANESO UNS C86500.

ELEMENTOS	COMPOSICION (%)
Cu	57
Zn	39
Fe	1
Mn	1
Al	1
Ni	04
Sn	04,
Pb	0,2

TABLA # 7
AJUSTE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA
ALEACIÓN DE ZINC ZA-27.

ELEMENTOS	COMPOSICION (%)
Al	27
Cu	2,3
Mg	0,02
Zn	Resto

La metodología usada para la elaboración de la aleación de cobre UNS C86500 y la aleación de zinc ZA-27 es como se muestra en los siguientes diagramas de bloques.

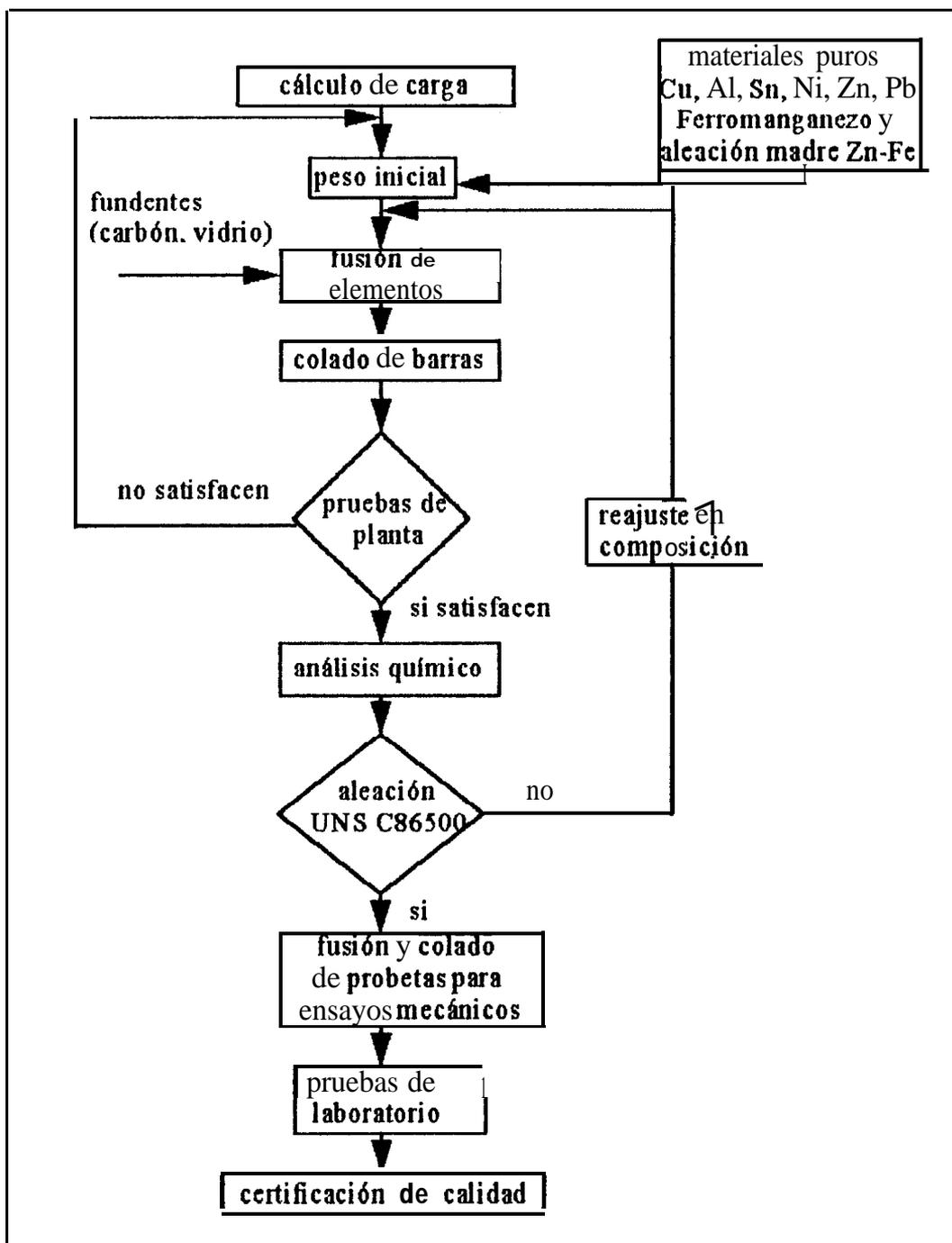


FIGURA # 2.3
DIAGRAMA DE ELABORACIÓN DE LA ALEACIÓN
BRONCE AL MANGANESO UNS C86500

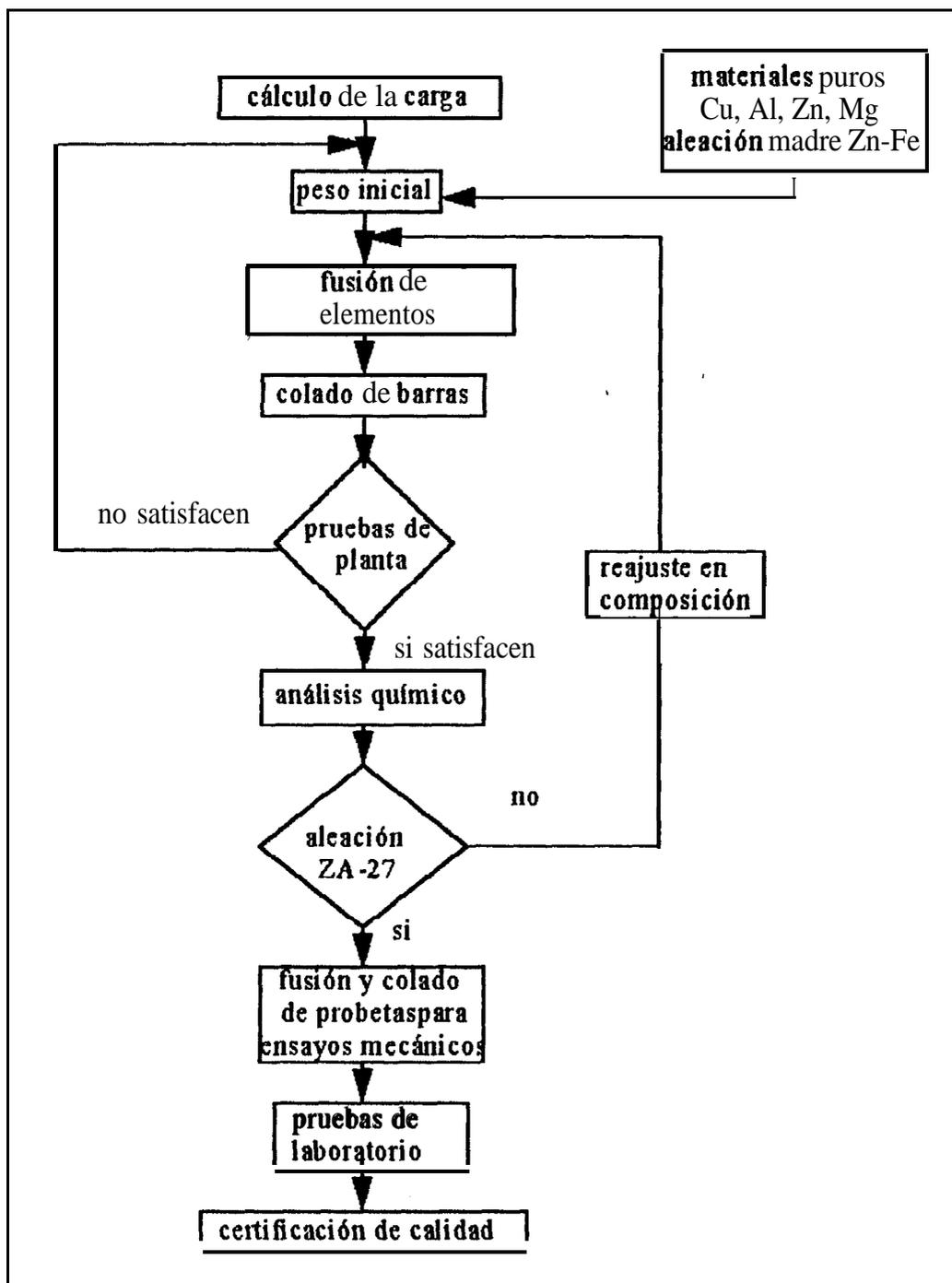


Figura # 2.4
DIAGRAMA DE ELABORACIÓN DE LA ALEACIÓN DE
ZINC ZA-27

Como muestra los diagramas primeramente se **calcula** la **carga** a emplearse en la **fusión**; luego se pesan todos los elementos de **cada** aleacion respectivamente, **sean** que **estén** en estado puro o **como** piedra en el **caso del ferromanganeso** o **como una aleación** madre Zn-Fe. Cabe indicar que el **término “ aleación madre ”** se refieren a los lingotes provenientes **del** reciclado de la espuma de zinc.

Continuando con el **diagrama** pasamos a la aleacion de las fundiciones. En el **caso** de la aleacion de **cobre** se le debe agregar, en la **fusión**, **fundente** (**carbón** y vidrio), a fin de **limpiar** la **colada** y evitar en lo posible porosidades. En la aleacion de **zinc** no es necesario **fundentes**.

Luego de obtener los lingotes (grandes y **pequeños**) se realizan los ensayos de **planta** con el lingote **pequeño** (**probeta**), en **caso** de que las pruebas de **planta** no **sean** satisfactorias, entonces se vuelve a pesar y **fundir** hasta que **dichas** pruebas **sean óptimas**. Una vez satisfechas y realizadas estas pruebas se **toma** una muestra de la aleacion **mediante arranque de viruta** en el tomo y se los lleva al Instituto de **Química** de la ESPOL **para realiza** el **análisis químico vía absorción atómica**. Con los resultados obtenidos **del análisis químico** se **comparan** con los porcentajes permisibles de **cada** uno de los elementos **aleantes** en la aleacion. De esta **comparación** se deduce si la muestra **cumple** o no con la composicion que **indica** la **norma**; **sino** es **así**, entonces, se **tendrá** que **repetir** el **proceso** refundiendo la aleacion pero **haciendo** un reajuste de la cantidad de los

elementos aleantes. Se vuelve a **colar probetas para los** ensayos de **Planta**, se debe **pasar** estos ensayos y volver **hacer** un nuevo **análisis químico** hasta que **los** resultados de **éstos sean** satisfactorios. Finalmente, se **colan probetas para los** ensayos de tensión, dureza y **metalografía** cuyos resultados nos van a **permitir certificar** la **calidad del producto**.

2.2 EQUIPO UTILIZADO

A **continuación detallaremos todo** el **equipo** y material **utilizado** en el present-e trabajo:

La materia **prima utilizada para** el **proceso** de reciclaje y la obtencion de **aleación UNS C86500** y la **aleación ZA-27** es:

- Espuma o escoria de zinc
- **Ánodos** de sacrificio
- Cobre de conductor **eléctrico**
- Aluminio de conductor **eléctrico**
- Magnesio Puro
- **Estaño** puro
- **Níquel** puro
- Plomo puro
- Ferromanganeso

Como fundente **para** el reciclaje se **utilizo** cloruro de amonio. **Para** la limpieza **del cobre** y la **obtención** de **su aleación** se **utilizó** vidrio y carbon vegetal.

Los equipos y accesorios **usados para** el **proceso de fusión** son:

- **Horno** de crisol que utiliza gas propano **como** combustible (Figura 2.5)
- Un ventilador o blower de **2"** de **carga**.
- Crisol de grafito con capacidad de 6 y 20 Kg.
- Un quemador **para calentar** moldes de acero
- **Termómetro** digital **para** el control de **temperatura**.
- **Balanza mecánica** de 5 Kg. de capacidad y **precisión** de 1 **gr.**
- **Balanza** digital con capacidad de 2 Kg. y **precisión** de 0,1 gr.
- **Campana** de grafito **para** proteger el zinc.
- **Papel de cobre para** envolver **algunos** materiales.
- Moldes de acero. (Figura 2.6)
- Moldes de arena.
- **Tenazas para introducir** materiales
- **tenazas curvas para** la manipulacibn **del** crisol.
- Guantes
- **Agitador** de acero

Para las pruebas de laboratorio se **utilizo el** siguientes **equipo y materiales**

Análisis químico

- **Equipo** de absorcibn **atómica**
- **Reactivos: Ácido nítrico y ácido clorhídrico.**
- Torno **para** extraccibn de muestras.
- **Recipientes** y tubos de ensayo

Dureza

- **Durómetro** brine1 con una **carga** de 500 Kg. y una bola de 10 mm.
- **Lámpara para** medir **profundidad** de huella
- Sierra manual **para** extraccibn de muestras.

Ensayo metalográfico

- **Microscopio metalográfico**
- Mesa **para el** pulido intermedio
- Lijas **220, 320, 500** y 600
- **Máquina** pulidora de **líquido** rotativo
- Pasta abrasiva de aluminio
- Pasta de diamante
- Reactivos: **Hidróxido** de amonio + **Peróxido** de **hidrógeno** + Agua
(**para aleación UNS C86500**)
Oxido de **romo** + **Sulfato** de sodio + Agua
(**para aleación ZA-27**)
- Secadora manual

Ensayo de tracción

- **Máquina Instron para** ensayos de **tracción**
- Graficador
- Tomo y Fresadora **para dar** el acabado a **las** probetas.



Figura 2.5

**FOTOGRAFÍA DEL HORNO DE CRISOL QUE USA
GAS PROPANO COMO COMBUSTIBLE**



Figura 2.6

**FOTOGRAFÍA DEL MOLDE METÁLICO JUSTO EN EL
MOMENTO DEL PRECALENTAMIENTO**

2.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En esta **parte** se **explicara** detalladamente **los** pasos seguidos en **los** procesos tanto de reciclaje **como** de fusion **para** la **obtención** de las **aleaciones** antes mencionadas.

Proceso de Reciclaje.

Para tener una mejor **información del** proceso, he **creído** conveniente **realizar** (6) pruebas de **fusión** con **diferentes clases** de espuma **para** **analizar** el **porcentaje** de recuperacibn de zinc y **determinar** que tan conveniente es obtener zinc **mediante** este proceso. En la figura 2.8 y 2.9 se muestran **los** tipos de espuma **utilizada** en el reciclado .

La **técnica** de reciclaje y fusion **usada para** las 6 pruebas **fue** la siguiente:

- **Clasificación** de la escoria de zinc
- Pesaje de lamuestra
- Se coloca la muestra en el crisol y se **tapa** el horno.
- Se prende el homo y se deja que este **alcance** una temperatura aproximada de 650°C.
- **Una vez alcanzada dicha** temperatura se apaga el homo **para sacar** el crisol y se **procede a sacar** con cuidado toda la basura o tierra que queda en la **superficie** de la colada.

-Luego de retirar la mayor cantidad de tierra de la colada se **procede** ha **agregarle** cloruro de amonio **como** fundente **para separar** impurezas y **limpiar** el **caldo**; se **batió** la colada.

-Se **procede** a **colar** en un molde **metálico** previamente calentado. La temperatura de **colado** debe ser de 450 °C aproximadamente .

- Finalmente se **procede** a pesar **tanto** las **barras** de zinc obtenidas **como** la tierra o basura que **salió del** crisol, a fin de **realizar** un **análisis** de **recuperación** de zinc en el proceso de reciclado.

Después de haber **terminado** las 6 pruebas de fusion se **toma** una muestra de las **barras** obtendadas y se las lleva al **Instituto** de Ciencias **Químicas** de la Universidad Estatal **para hacerle** un **análisis químico cualitativo** y cuantitativo de la muestra, se lo hizo **allá** porque en esos momentos el **equipo** de **absorción atómica del** Instituto de **Química** de la Espol no estaba disponible; aunque en lo posterior cuando dicho **equipo** estuvo disponible se **hizo** el **análisis** cuantitativo de esa muestra.

El **análisis químico** de las **barras** de **zinc** obtenidas en el proceso es un factor muy importante porque de esa **manera** se puede conocer que elementos **están** presentes en **dichas barras** y en que **proporción están**. En la figura 2.10 se muestran **los** lingotes obtenidos **del** reciclado de la espuma de zinc.

Los resultados de las 6 pruebas de **fusión para** el reciclado se muestran en la **tabla # 8** y el resultado de las **pérdidas y recuperación** de zinc en el **proceso** se muestrau en la tabla # 9 .

TABLA # 8

RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE FUSIÓN EN EL PROCESO DE RECICLADO



Pruebas	Tipo de escoria (gr)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso de tierra (gr)	Peso de pérdida (gr)
1	granular	5000	1775	2585	640
2	granular	5100	1810	2775	515
3	compacta	8620	8260	265	95
4	compacta	5120	1870	2510	740
5	mixta	5000	2750	1660	590
6	mixta	6760	2265	3700	795

TABLA # 9
RESULTADO DE LAS PÉRDIDAS Y RECUPERACIÓN
DE ZINC EN EL PROCESO DE RECICLADO.

Pruebas	Tipo de escoria	Recuperación de zinc (%)	Pérdidas en tierra (%)	Pérdida en el proceso (%)
1	granular	35,5	51,7	12,8
2	granular	35,5	54,4	10,1
3	compacta	95,8	3,1	1,1
4	compacta	36,6	49,0	14,4
5	mixta	55,0	33,2	11,8
6	mixta	33,5	54,7	11,8

Los resultados **del análisis químico** cualitativo **hecho** en el Instituto de Ciencias **Químicas** de la Universidad **Estatad** se muestran en la tabla # 10; **mientras** que los resultados **del análisis químico** cuantitativo hechos **tanto** en la Universidad Estatal **como** en la Espol se **muestran** en la tabla # 11

TABLA # 10
RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO
CUALITATIVO DE LOS LINGOTES DE ZINC
RECICLADOS

ELEMENTOS PRESENTES
Zinc
Hierro
Plomo
Aluminio

TABLA # 11
RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO
CUANTITATIVO DE LOS LINGOTES RECICLADOS,
HECHO EN LA ESPOL COMO EN LA U. DE
GUAYAQUIL

ELEMENTO	COMPOSICIÓN (%)	
	U. de GUAYAQUIL	ESPOL
Zinc	98,00	resto
Hierro	0,65	0,42
Plomo	0,14	0,18
Aluminio	0,18	0,22
Cadmio	-	0,03
Antimonio	0,06	0,08



Figura 2.7
FOTOGRAFÍA DE LA ESPUMA O ESCORIA DE ZINC
DE TIPO GRANULAR



Figura 2.8
FOTOGRAFÍA DE LA ESPUMA DE ZINC
DEL TIPO COMPACTA

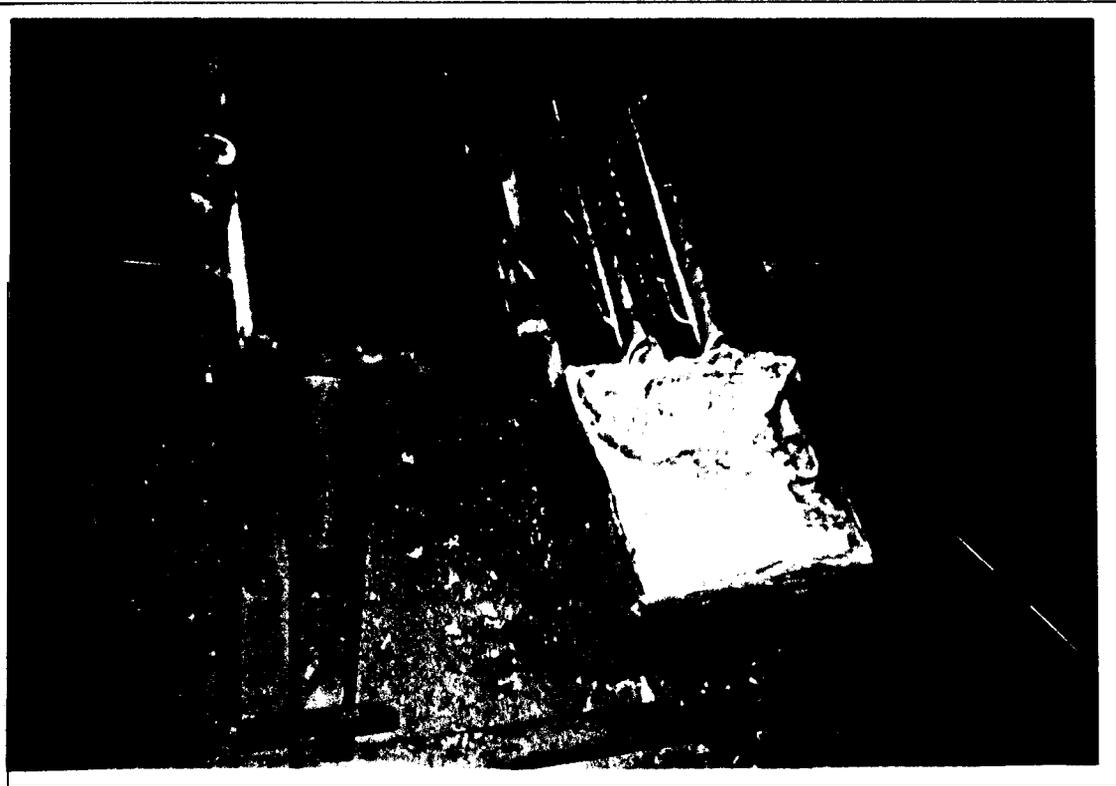


Figura 2.9

**FOTOGRAFÍA DE LOS LINGOTES OBTENIDOS EN EL
PROCESO DE RECICLAJE**

PROCESO DE LINGOTEADO DE COBRE, ALUMINIO Y ZINC

Una vez concluido el **proceso** de reciclado y antes de pasar a **elaborar las** dos aleaciones, se debe primeramente lingotear cobre, aluminio y Zinc.

Se **decidió** primeramente lingotear cobre, aunque **el** mas **difícil** de hacerlo por las razones expuestas anteriormente (**Pág. 35**). Sin embargo se lo hizo por tener la temperatura mas alta de fusion (1080°C) y porque si sobrara cobre en el crisol, **después de limpiarlo**, no **afectaría** al aluminio cuando se tenga que lingotear aluminio ya que **su punto de fusión** es **mas** bajo (660°C) y el cobre sobrante no se **fusionaría** a esa temperatura; de **manera análoga sucedería** al **fundir** zinc **cuya** temperatura de fusion es de 420°C y el aluminio sobrante no se **fundiría** a esa temperatura. Por lo **tanto** se ha **fundido** en **orden** decreciente al **punto de fusión**, es **decir**, cobre - aluminio - zinc.

La **técnica** de fusion **para** lingoteado **tanto** de cobre, **aluminio** y Zinc es **como** sigue:

- Troceado de **los** alambres de aluminio y cobre. En el **caso** de zinc **cortar** en trozos las **placas** de **los ánodos** de sacrificio.
- Peso **inicial** de la **carga**
- Prender el horno **para calentar** el crisol por **un** tiempo determinado. En el **caso del** cobre 15 mm. y **para el aluminio** y Zinc, 5 mm.; se baja **la** llama **para cargar el** crisol.

- Una vez cargado el crisol se sube la llama y se la **estabiliza**. Se espera hasta que **alcance** una temperatura superior en 100°C al **punto de fusión**.
- Luego de **alcanzar** la temperatura apropiada se apaga **el** horno, se bate la colada y se empieza a **colar** en moldes **metálicos** previamente **calentado**. En **el caso del** cobre es necesario la presencia de fundentes tales **como** carbon y vidrio que se le agrega durante la fusion, a fin de **limpiar** y proteger la colada de la **absorción** de gases. En **el caso del** aluminio y zinc no es necesario la presencia de **fundentes**.
- **Finalmente** se pesan **los** lingotes obtenidos.

ELABORACIÓN DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500

Después de haber pasado el **proceso** de reciclaje, recuperando zinc y luego de haber hngoteado cobre, **aluminio** y zinc (**ánodos**) ya estamos listos **para** empezar a **elaborar** las dos aleaciones en base cobre y en base **zinc**.

Primeramente **basándonos** en el **diagrama** de bloques mostrado en la figura 2.3 y en **ajuste** de la **composición química mostrada** en la tabla # 6 procedemos al **cálculo** de la **carga** considerando **también** las **pérdidas** que puedan ocasionar por diversos **factores** en el momento de la **fusión**. Dichos resultados se **muestran** en la **tabla # 12** .

El **cálculo** de la **composición química** se **realizó** de la siguiente **manera**:

- Dada la **composición** :

c u	57
z n	39
Fe	1
Mn	1
Al	1
Sn	0.4
Ni	0.4
Pb	0.2

100.0

Cuya **suma** nos da un 100% o en forma **análoga** 100 **gramos** ; pero se requiere **preparar** 4000 gramos de la **aleación**, entonces **los pesos cargados serían**:

CU	57x40 =	2220 gr.
Zn	39x40 =	1560 gr.
Fe - Mn	2x40 =	80 gr.
Al	1x40 =	40 gr.
Sn	0,4 x 40 =	16 gr.
Ni	0,4 x 40 =	16 gr.
Pb	0,2 x 40 =	8 gr.

-----me---

4000 gr.

Ha estos valores se le debe **agregar** un 5% de **cobre**, 8 % de zinc, 8 % de aluminio, 5 % de ferromanganeso, a **fin** de prevenir **pérdidas**. El **estaño**, **níquel** y plomo no se le agregan cantidades adicionales ya que son elementos que solo **tienen** valores **máximos** y no presentan valores **mínimos** en la **composición**, por lo **tanto** una **disminución** en su **composición** no **afectaría** a la **aleación**.

Realizamos **un nuevo cálculo** y **tenemos** :

cu	2280 + 5 % =	2394 gr.
Zn	1560 + 8% =	1684,8 gr.
Fe-Mn	80 + 5% =	84 gr.
Al	40 + 8 % =	43,2 gr.
Sn	16 + 0 % =	16 gr.
Ni	16 + 0 % =	16 gr.
Pb	8 + 0 % =	8 gr.

		4246 gr.

Teniendo ya el **cálculo** de la **carga** procedemos al pesaje de **los** elementos.

TABLA # 12
COMPOSICIÓN DE LA CARGA DE LA ALEACIÓN
BRONCE AL MANGANESO UNS C86500.

ELEMENTOS	COMP. REQUERIDA %	COMP. DE CARGA (%)	PESO (gr.)
Cobre	57	56,38	2436
Zinc	39	39,68	1641,6
Ferromanganeso	2	1,98	84
Aluminio	1	1,02	43,2
Estaino	0,4	0,38	16
Niquel	0,4	0,38	16
Plomo	0,2	0,19	8

El peso total de la **carga** pat-a el **proceso** de **fusión** es de 4246 **gramos** y la **técnica** de **fusión usada** es la siguiente:

- Se **colocó** el crisol vacío dentro **del horno** y se lo **prendió** tratando de estabilizar la llama obteniendo una ligeramente **oxidante**.
- **Después** de unos 10 min. se **bajo** la llama **para** poder colocar el **cobre** en trozos y **además** se **agregó carbón** y vidrio. Se **estabilizó** nuevamente la llama.

- Se **esperó** hasta que el cobre alcance un estado pastoso (momentos antes de la **fusión**) **para agregarle** ferromanganeso envuelto en papel **periódico**.
- Luego le agregamos **aluminio, estaño** y níquel. Se bate la mezcla.
- Se apaga el horno y **utilizando** una campana de **grafito** le agregamos el zinc que proviene **del** reciclado. **Finalmente** le agregamos plomo.
- Se bate la colada **para homogenizar** la mezcla.'
- Luego se **procede** a **colar** en moldes **metálicos** previamente calentados, **también** se lo **hace** en otro molde de **hierro pequeño para** realizar los ensayos de **planta**.
- Se **procede** al ensayo de **planta para observar ductilidad**, resistencia y **tamaño del** grano.
- Se extrae una muestra de la **aleación para** realizar **el análisis** químico via **absorción atómica** en **el** Instituto de Ciencias **Químicas** de la **ESPOL para** **verificar** si la **composición** obtenida **está** dentro **del rango** de la **norma**.

Se reahzaron **varios intentos** hasta llegar a la obtencibn de la **aleación**.

A **continuación** se describe la **experiencias obtenidas** en **cada** uno de los intentos.

Primera fusión

En este **intento** el cobre no se **mezcló** y **permaneció** en el **fondo del** crisol **mientras** que en **los demás** elementos Zn - Al - **Ferromanganeso** - **Pl** - Ni - **Sn** y posiblemente **algo** de cobre se combinaron y formaron un tipo de

aleación rica en zinc. Nos pudimos dar cuenta de esto porque al lingotear la supuesta **aleación** de cobre se **observó** que **los** lingotes eran de color **plateado** (**típicas** de las aleaciones de zinc), **además** luego se **observó** que el fondo **del** crisol **habían** grandes cantidades de cobre solidificado. Pesamos **los** lingotes obtenidos y **como** era de esperarse había una pérdida considerable de peso, obviamente por **causa** de la no **aleación** de cobre en la mezcla.

Es muy probable que el motivo por el **cual** no se **fundió** el cobre se **deba** a que **aún** no se llegaba a una temperatura adecuada **para** empezar ha agregarle **los demás** elementos aleantes. No se realizaron ensayos de Plan@ peor **aún análisis químico**.

A continua&n se muestra la **pérdida** en peso de este primer intento.

TABLA # 13

PÉRDIDA EN PESO DEL PRIMER INTENTO DE FUSIÓN DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500.

PESO TOTAL DE LA CARGA (gr.)	PESO TOTAL OBTENIDO (gr.)	PÉRDIDAS (%)
4246	1552	63,4

Segunda fusión

Para este intento se **esperó** que el cobre **alcance** su **punto** de fusion y a una temperatura de 1100°C se **empezó** ha agregarle **los** elementos **aleantes** primer0 el ferromanganeso; luego el Al, Ni, Sn. Desputs con una **campana** de grafito se metia **poco a poco** el zinc. Finalmente se **metió** el Pl y se **batió** la colada.

Se obtuvo la mezcla **del** cobre porque al observar el color de **los** lingotes estos eran de color **dorado** (color **típico** de **los** bronces al **manganeso**); **además observamos** que el crisol estaba **limpio**, sin cobre . En la tabla # 14 se muestra la **pérdida** en peso de la Segundo **intento** de **fusión**.

TABLA # 14

PÉRDIDA EN PESO DEL SEGUNDO INTENTO DE FUSIÓN DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500

PESO TOTAL DE LA CARGA (gr.)	PESO TOTAL OBTENIDO (gr.)	PÉRDIDAS (%)
4246	3865	8,97

Aparentemente se obtuvo la aleación y **procedió** a las pruebas de **Planta**. Dichas pruebas no fueron **satisfactorias** porque en algunas partes la aleación era **frágil** y en otras **dúctil**; **además** el color en el área de **fractura** era diferente que en **otras áreas**.

Entonces se **concluyó** que lo más probable era que a la colada le faltó **agitación para** homogenizar la mezcla. Se **decidió hacer un** tercer intento.

Tercera fusión

Realmente este tercer **intento** es una **refusión** de la segunda **fusión**. Una vez **fundida** la aleación se la agita **varias veces para** homogenizar la mezcla. Después que la colada se la ha **batido** bien procedemos a lingotear. La **pérdida** en peso de la **refusión** de la **aleación** de **cobre** se **muestra** en la **tabla # 15**.

TABLA # 15

PÉRDIDA EN PESO DEL TERCER INTENTO DE FUSIÓN DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500

Peso total de la carga gr.	Peso Total obtenido (gr)	Pérdidas %
3865	3800	1,7

Luego se procedió a los ensayos de Planta los cuales se muestran en la siguiente tabla.

TABLA # 16

RESULTADO DEL ENSAYO DE PLANTA (TERCERA FUSIÓN) DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500.

Aleación	Color	Resistencia	Ductilidad	Ángulo de fractura	Tamaño de grano	porosidad
UNS C86500	Dorado	buena	alta	60°	regular	regular

Se tomó una muestra de esta aleación y se la envió al Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL para el respectivo análisis. A continuación se muestra una comparación entre los resultados del análisis químico obtenido y los descritos por la norma.

TABLA # 17
COMPARACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN
QUÍMICA OBTENIDA DE LA ALEACIÓN DE COBRE
(TERCERA FUSIÓN) Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA
DE LA NORMA.

Elementos	Composicion de la Norma %	Composicion obtenida %
Cobre	55-60	60,0
Aluminio	0,5-1,5	0,88
Hierro	0,4-2,0	0,07
Manganeso	1,5 max.	0,07
Plomo	0,4 max.	0,07
Niquel	1 max.	0,1
Estaño	1 max.	0,5
Zinc	resto	resto

Cuarta Fusión

Como muestra la tabla # 17 se **perdió aluminio** y plomo, mientras que el ferromanganeso y niquel no se disolvieron y **además** hubo un **incremento de cobre**. Sin embargo todos, exepcto el **hierro, están** dentro de la **norma**. Se **procederá** entonces a **agregarle** ferromanganeso a la cuarta **fusión**.

Como **teníamos** 3800 gr. de **aleación** que representan el **100%**, de los cuales el **0,07 %** es Fe y **0,07 % Mn**, entonces hablamos de **0,14 %** de Ferromanganeso presente en la aleacion.

Ahora vamos a aumentar un 2% (78gr.) de Ferromanganeso en la aleacion. Luego procedemos a **realizar** el **proceso** de fusion y el lingoteado en **barras**. Se realizan **los ensayos de planta** y **los resultados** de éstos de muestran en la siguiente tabla.

TABLA # 18

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PLANTA (CUARTA FUSIÓN) DE LA ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500.

Aleación	Color	Resistencia	Ductilidad	Ángulo de fractura	Tamaño de grano	Porosidad
UNS C86500	dorado	muy buena	alta	65°	fino	minima

Los resultados de estos ensayos fueron satisfactorios, **así** que **tomamos** una muestra de la aleacion y se las **llevó** al Instituto de **Química** para realizarle el **respectivo análisis**. El resultado de dicho **análisis** se muestran en la tabla # 19 y en la figura 2.11 se muestra la gran ductilidad que tiene esta aleacion.

TABLA # 19
RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA
ALEACIÓN DE COBRE UNS C86500 (CUARTA
FUSIÓN).

Elementos	Composición obtenida (%)
Cobre	59,2
Aluminio	1,3
Hierro	0,60
Manganeso	0,5
Plomo	0,09
Níquel	0,12
Estafío	0,45
Zinc	rest0

Aunque los resultados de **algunos** elementos son bajos, **como** por ejemplo el Fe, Pb, Ni ; sin embargo Cstos se **encuentran dentro** de la **norma**. Por lo tanto se **procede** a **realizar las** pruebas de laboratorio, **las cuales** se muestran en la **sección 2.4**.



Figura 2.11

**FOTOGRAFÍA DE UNA PROBETA ENSAYADA DE LA
ALEACIÓN UNS C86500**

ELABORACIÓN DE LA ALEACIÓN DE ZINC ZA-27

Una vez lista toda la materia prima a usarse para elaborar la aleación a base de zinc y basándonos en el **diagrama** mostrado en la **figura 2.4**, así como también el **ajuste** de la **composición química** de la tabla # 7 procedemos al **cálculo** de la **carga** considerando, obviamente las **pérdidas** que pueden ocasionar por diferentes **factores** en el **momento** de **fusión**.

Dichos resultados se muestran en la **tabla # 20**.

El **cálculo** de la **composición química** se **realizó** de la **siguiente manera**:

-Dada la composición :

Al	27,0
CU	2,30
Mn	0,01
Zn	70,69

	100,0

Cuya **suma** nos da un 100% o de **manera análoga** 100 gr, pero se va a **preparar** 2500 gr. de la **aleación**, entonces los pesos cargados **serían**:

Al	27,0	x	25	=	675,0	gr.
cu	2,3	x	25	=	57,5	gr.
Mg	0,01	x	25	=	0,25	gr.
Zn	70,69	x	25	=	1767,25	gr.

					2500,0	gr.



A estos valores se le agrega un 5% de Al, 5% de Zn, 20% Mg y 5 % de Cu con el fin de compensar las pérdidas que puedan ocurrir durante la fusión. Realizando un nuevo cálculo tenemos:

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Al} & 675 & + 5\% & = & 708,8 \text{ gr.} \\
 \text{Cu} & 57,5 & + 5\% & = & 60,4 \text{ gr.} \\
 \text{Mg} & 0,25 & + 20\% & = & 0,3 \text{ gr.} \\
 \text{zn} & 1767,25 & + 8\% & = & 1908,6 \text{ gr.} \\
 & & & & \text{-----} \\
 & & & & 2678,1 \text{ gr.}
 \end{array}$$

TABLA # 20
COMPOSICIÓN DE LA CARGA DE LA ALEACIÓN DE
ZINC 2x-27

Elementos	Comp. requerida (%)	Comp. de la carga %	Peso (gr)
Al	27	26,47	708,8
cu	2,3	2,26	60,4
Mg	0,01	0,011	0,3
zn	70,69	71,27	1908,6

El peso total de la carga **para** el **proceso** de **fusión** es de 2678,1 gr. y la **técnica** de fusión utilizada es la siguiente :

- Colocamos el crisol sin carga dentro **del** homo y lo **prendemos**.
- Se espera unos 5 **minutos** hasta que el crisol este bien caliente **para** luego **bajar** la llama y poder colocar el **cobre** y el **aluminio** en trozos. Estabilizamos la llama.
- Una vez que el crisol ha alcanzado unos 600°C , se coloca **el** Zn y se espera a que se **funda**.
- Después que toda la mezcla se ha disuelto se agrega el Mg. Se bate la colada.
- A unos 650°C se apaga el homo y se **procede** a **colar** en moldes **metálicos** previamente **calentados**. **También** se cola en un molde **pequeño para** realizar los ensayos de **Planta**.
- Con la **probeta pequeña** se realizan las pruebas de **Planta para** observar resistencia, ductilidad, **tamaño** de grano, porosidad.
- Si los ensayos son satisfactorios entonces se extrae una muestra de la **aleación para** realizar el **análisis químico** y **verificar** su **composición**.

Cabe señalar que **para** esta **aleación** el hierro representa una impureza y no debe estar en un valor superior **al** 0,1% es por esto que debemos mezclar el Zn **del** reciclado, con el proveniente de **los ánodos** de sacrificio, ya que **éstos prácticamente** no tienen hierro de tal **manera** que el contenido total de hierro en la **aleación** caiga a un nivel de impurezas.

A **continuación** se **realiza** una **tabla**, en donde se muestra el % de Fe presente en la **aleación**, **utilizando** diferentes proporciones de zinc reciclado. Por ejemplo una proporción de $\frac{1}{4}$ significa una **parte** de zinc reciclado y tres de **ánodos** de sacrificio.

TABLA # 21

**CANTIDAD DE HIERRO PRESENTE EN LA
ALEACIÓN DEPENDIENDO DE LA PROPORCIÓN DE
ZINC RECICLADO.**

Proporción de Zinc reciclado	% de Fe presente en la aleación
1	0,46
1/2	0,23
1/3	0,15
1/4	0,11
1/5	0,091
1/6	0,076
1/7	0,065
1/8	0,057
1/9	0,051
1/10	0,047

De igual **manera** que en la **obtención** de la aleación de **cobre también** se **realizaron** varios **intentos para** obtener la aleación de **Zn ZA-27**. A **continuación** se describe **cada** una de las experiencias de **los** intentos.

Primera Fusión

Siguiendo la **técnica de fusión explicada** con anterioridad se obtiene la mezcla deseada. Aparentemente no hubieron complicaciones **para** esta aleación. A continuación se muestra la **pérdida** en peso que **ocurre** en la **fusión**.

TABLA # 22
PÉRDIDA EN PESO DE LA ALEACIÓN ZA-27
(PRIMERA FUSIÓN)

Peso total de la carga (gr.)	Peso total obtenido (gr.)	Pérdidas (%)
2678,1	2545	4,97

Posteriormente se realizaron **los ensayos de planta, los cuales** se muestran en la siguiente tabla.

TABLA # 23
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PLANTA (PRIMERA FUSIÓN) DE LA ALEACIÓN DE ZINC ZA-27.

Aleación	Color	Resistencia	Ductilidad	Ángulo de fractura	Tamaño de grano	Porosidad
ZA-27	Plateado	alta	Baja	5°	Fino	minima

Como podemos ver los resultados obtenidos en el ensayo de planta son satisfactorios; entonces se procede a tomar una muestra de la aleación para realizar el análisis químico correspondiente . Dicho análisis y la comparación con la norma se muestra en la siguiente tabla.

TABLA # 24
COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN ZA-27 (PRIMERA FUSIÓN) ENTRE OBTENIDA EN EL LABORATORIO Y LA NORMA.

Elementos	Comp. de la Norma (%)	Comp. obtenida %
Aluminio	25-28	32,8
Cobre	2,0-2,5	0,6
Magnesio	0,01-0,02	0,002
Zinc	rest0	rest0
Hierro	menor	0,11
Plomo	a	0,024
cadmio	0,1	0,021
Estaño		0,01

Observando los resultados de la tabla # 24 vemos que ha habido **un incremento** considerable de Aluminio en la **aleación** y consecuentemente se ha perdido zinc. **Además** hay ptdidas de magnesio y **cobre**.

Se **procede** a **realizar** una segunda **fusión**, **haciendo** el correspondiente ajuste.

Segunda Fusión

Antes de **proceder** a la **fusión** debemos **calcular** **cuanto** de Zn, Mg y Cu hay que **añadir** en la **aleación**. Se va a **probar** con 13% de **Zn**, 2% de Cu y 0,01% de Mg. Es **decir** que los 2545 gr de la **aleación** representan ahora el 85% y 2994 gr. **sería** el nuevo **total (100%)**.

Entonces hay que agregar 389,1 gr. de **Zn**; 59,9 gr. de Cu y 0,3 gr de Mg. De esa **manera** podemos **bajar** la **proporción** de Aluminio. Como el Al estaba presente en **un 32,8%** que representaba 835 de 2545 gramos; ahora en 2994 gr. **representarían el 27,9 %** y de esa **manera** hemos conseguido **bajar** la **proporción** de **aluminio** a **un** valor que se encuentra en **un rango** permisible por la **norma**.

Ahora procedemos a **realizar** la **fusión** **utilizando** la **técnica** descrita anteriormente y tomando las debidas precauciones **para** que no se pierda **nuevamente** zinc. Una vez **fundida** la **aleación** pesamos el material. La ptdida en peso de esta **fusión** se muestra en la tabla # 25.

TABLA # 25

**PÉRDIDA EN PESO DE LA ALEACIÓN DE ZINC ZA-27
(SEGUNDA FUSIÓN)**

Peso total de la carga (gr.)	Peso total obtenido gr.	Pérdidas %
2994	2935	1,97

Se realizaron los ensayos de **planta**, cuyos resultados se encuentran tabulados a continua&n :

TABLA # 26

RESULTADO DEL ENSAYO DE PLANTA (SEGUNDA FUSIÓN) DE LA ALEACIÓN DE ZINC ZA-27.

Aleación	Color	Resistencia	Ductilidad	Angulo de fractura	Tamaño de grano	Porosidad
ZA-27	Plateado	muy buena	baja	8°	fino	minima

Como los resultados **del** ensayo de **planta** fueron satisfactorios , **tomamos** una muestra de la **aleación** para **realizarle** el **análisis químico**. Los resultados **del análisis químico** se muestran en la tabla # 27.

TABLA # 27
RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO (SEGUNDA FUSIÓN) DE LA ALEACIÓN DE ZINC ZA-27.

Elementos	Composición Obtenida (%)
Aluminio	27,1
Cobre	2,4
Magnesio	0,01
Zinc	rest0
Hierro	0,09
Plomo	0,021
Cadmio	0,017
Estaño	---

Como se puede observar los resultados obtenidos del análisis químico están dentro de los rangos permisibles de la norma. Entonces se procede a preparar las probetas para realizar las pruebas de laboratorio, las cuales se muestran en la sección 2.4 .

2.4 CONTROL DE PROPIEDADES EN LABORATORIO PARA HOMOLOGACIÓN

Para la **certificación** de calidad de las aleaciones **fundidas** se realizaron en el laboratorio una serie de ensayos o pruebas que se **describen** a continuación:

Análisis Químico

Se **realizaron varias** veces el **análisis químico** a las muestras, **tanto** de la **aleación** de cobre **como** de la **aleación** de zinc, **hasta** obtener la composición deseada. Pero el procedimiento **usado** en cada una de las veces era el mismo. A **continuación** se describe el procedimiento **utilizado para el análisis químico**.

- **Primero** se debe **llevar** una muestra de la aleación a examinarse, unos cuantos gramos son suficientes **para** la prueba.
- Se pesa la muestra en una balanza digital, con una precisión de 0,0001 de **gramo**. El peso oscilaba entre 0,25 a 0,30 gramos.
- La muestra se la coloca en un vaso de precipitados y se le agrega el **reactivo para** disolver la muestra. En el **caso** de la **aleación** de cobre se **utilizó** 3 ml. de **ácido nítrico** + 1 ml. de **ácido** clorhídrico; mientras que en la **aleación** de zinc fue lo contrario; es **decir**, 3 ml. de **ácido clorhídrico** y 1 de **ácido nítrico**. Luego se agrega agua destilada. Aunque la **muestra** en su mayor **parte** se ha **disuelto**, se lo **lleva** a un reverbero en donde por unos cuantos minutos se **calienta** la muestra

para asegurar su total **disolución**.

- Una vez disuelta totalmente la muestra se **realizan** varias diluciones en agua destilada (4 en total) **para** poder leer las concentraciones de **los** elementos presentes en la **aleación**. Los elementos cuyas proporciones eran altas se **leían** en las **últimas** diluciones, mientras que **los** elementos de proporciones **pequeñas** se leían en las **primeras** diluciones.

- Finalmente, hechas **las** diluciones se pasa a la **lectura** en la **máquina** de **absorción atómica**.

Los resultados de **cada** uno de **los análisis químico** se mostraron en la **sección** anterior (2.3).

Dureza

Para la **determinación** de la dureza se **realizaron** los siguientes pasos:

- Primer0 se prepara la muestra. La muestra era **una probeta** cilíndrica de unos 5 cm. de longitud **aproximadamente**, la **cual** fue **torneada** en sus dos **caras** (superior e inferior) de tal **manera** que **éstas sean paralelas** y poder **así** evitar la posibilidad de error en las **lecturas**.

- Luego se **procede** a **tomar** la dureza **utilizando el durómetro** Brinel, con **una carga** de 500 gr. y una bola de **acero** templado de 10 mm. de **diámetro** se aplica durante 15 seg. a la muestra, ya sea de la **aleación** de Cu o de Zn.

- Finalmente, la huella **impresa** por la bola en la muestra es medida con una **lámpara** que tiene una **regla** con divisiones en **milímetros**. Se

cuentan **los milímetros del diámetro** de la **huella** y con ese valor se va a la tabla **para** determinar el valor de **dureza** que le **corresponde**.

A continua&n se muestran tabulados **los** valores de **dureza** de la **aleación** de Cobre UNS C86500 y de la **aleación** de zinc ZA-27 **fundidos** el molde **metálico**.

TABLA # 28

VALORES DE DUREZA DE LA ALEACIÓN DE COBRE Y DE LA ALEACIÓN DE ZINC.

No.	Aleación de Cobre (HB)	Aleación de Zinc (HB)
1	104	119
2	100	119
3	109	114
4	100	114
5	104	119

Metalografía

Para el ensayo **metalográfico**, primeramente se preparan **debidamente las** muestras antes de observarlas en el **microscopio**.

- En un **banco** de lijas se pulen las muestras con lijas No. 220, 320, 500 y **600**.
- Luego se **limpia** la muestra con alcohol y **se la seca** con una secadora manual.
- Se **realiza** un pulido **fino** en la mesa pulidora a la **cual** se le agrega pasta abrasiva de **alúmina** para el caso de la **aleación** de Cu y pasta de diamante **para** la de Zn.
- Se lava y se **seca** la muestra.
- Se **procede al** ataque **químico**. La muestra de la aleación de Cu se ataca con **hidróxido** de amonio + **peróxido** de **hidrógeno** + **agua**, mientras que la aleación a base de **Zn** se ataca con **óxido** de **romo** + **sulfato** de sodio + agua.
- Luego se va al **microscopio** y con aumento de 56, 113 y 226 se **analizan** las muestras.
- Finalmente, se **reproducen las imágenes** mediante **fotomicrografías**, las cuales se muestran en las **figuras 2.11** y **2.12** .

Ensayo de tracción

Para el ensayo de tracción se procedió de la siguiente **manera**:

- **Primero** se **preparó las** muestras que **iban** a ser ensayadas. Las dimensiones de las muestras corresponden a las **probetas para metales y aleaciones no ferrosas** dadas por la **norma ASTM E8**.

- Se midieron las longitudes **iniciales**; es **decir**, **longitud** (L_i), **ancho** (A_i) y **espesor** (e).
- Se **procedió al** ensayo.
- Se mide la longitud final (L_f) y se **toma el dato** de la carga **máxima** (F_m) dada por el graficador y mediante el **método** de fluencia aparente se obtiene la carga de fluencia (F_f).
- Utilizando las **siguientes fórmulas** se **haya** la resistencia **mecánica** (σ_m), la resistencia a la fluencia (σ_f), y el porcentaje de **elongación** (% E).

$$\sigma_m = F_m / (A_i \times e)$$

$$\sigma_f = F_f / (A_i \times e)$$

$$\%E = 100 [(L_f / L_i) - 1]$$

En la tabla # 29 se muestran **tabulados los** resultados **del** ensayo de **tracción** realizado **tanto** a la **aleación** de **cobre** como a la de zinc.

TABLA # 29
RESULTADO DEL ENSAYO DE **TRACCIÓN**

Muestra	L_i (mm)	L_f (mm)	$A_i \times e$ (mm ²)	F_m (Kgf)	F_f (Kgf)	σ_m (Kgf/mm ²)	σ_f (Kgf/mm ²)	%E
ZA-27	50	51,5	38,1	1560	1430	40,9	37,5	3,0
UNS C86500	50	64,0	38,1	1750	690	45,9	18,1	28

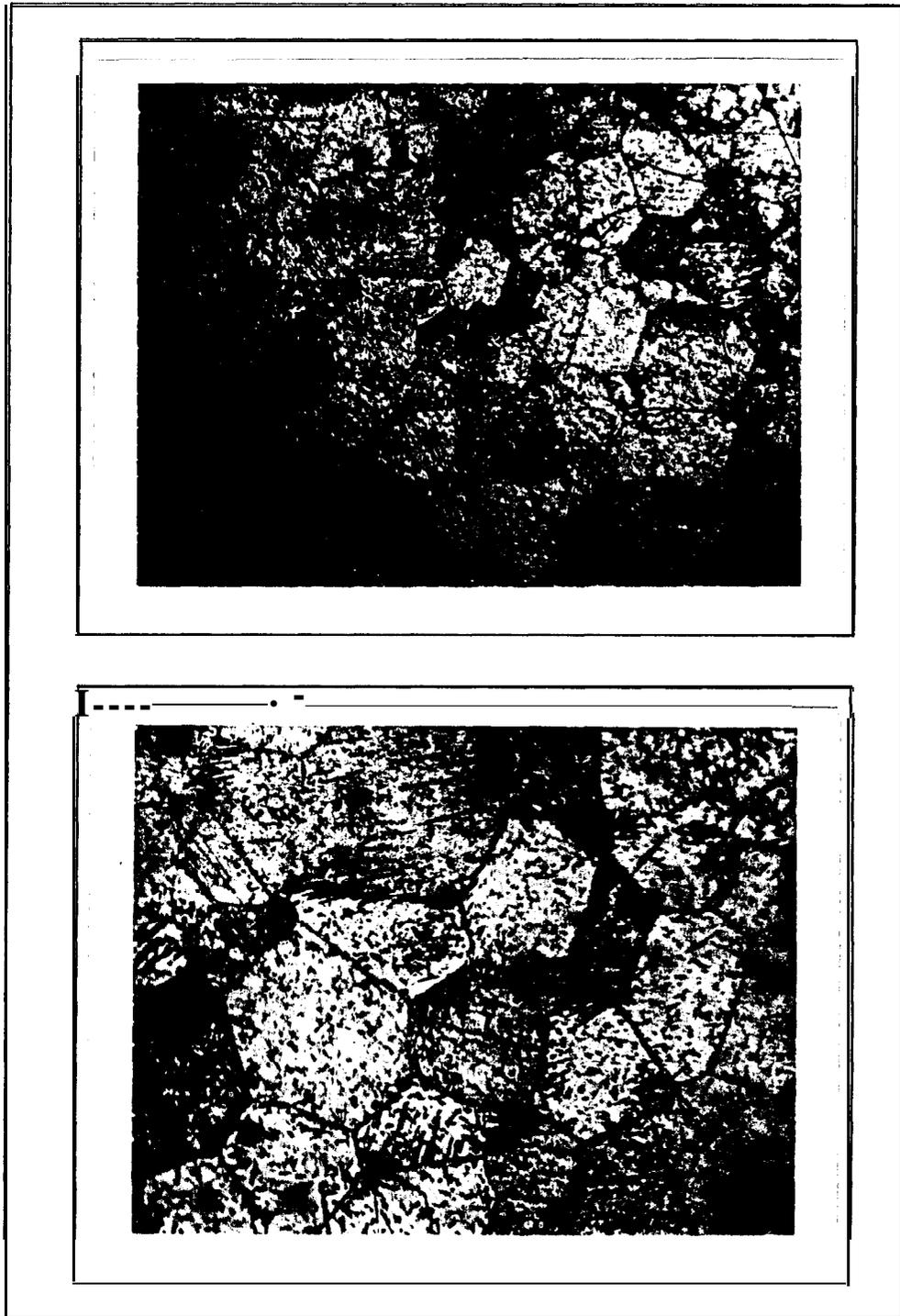


Figura 2.11
FOTOMICROGRAFÍA DE LA ALEACIÓN DE COBRE
UNS C86500; 50 ml NH₄OH, 50 ml H₂O₂ (3%), 50 ml
H₂O. Arriba 56X, Abajo 113X

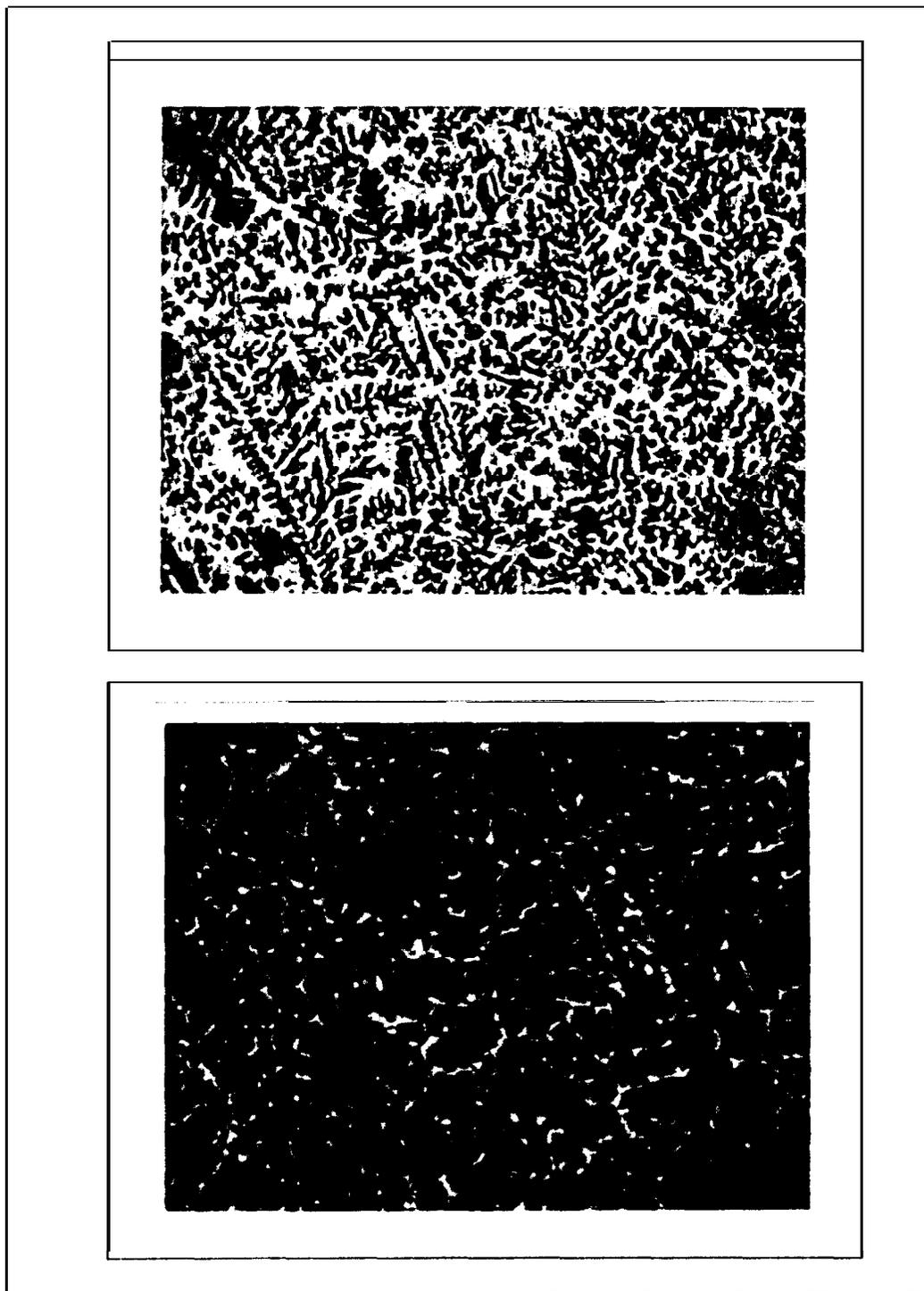


Figura 2.12

**FOTOMICROGRAFÍA DE LA ALEACIÓN DE ZINC
ZA-27; 50 g. CRO₃, 4 g. NASO₄, 1 lt. H₂O. Arribn 113X,
Abajo 226X**

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 SOBRE EL PROCESO

Después de haber concluido la parte experimental de este trabajo se puede decir que es factible producir la aleación de cobre UNS C86500 utilizando como materia prima los lingotes de la “aleación madre Zn-Fe” que provienen del reciclado de la escoria o espuma de zinc. De igual manera se puede fabricar la aleación de zinc ZA-27 utilizando los mismos lingotes reciclados pero mezclando, adicionalmente, con chatarra de zinc electrolítico (ánodos de sacrificio), a fin de bajar el porcentaje de hierro presente en la aleación madre Zn-Fe de los lingotes reciclados.

La discusión de resultados de este trabajo se basa fundamentalmente en el proceso de fusión y en los ensayos de planta realizados a las dos aleaciones. Por otro lado a través de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se discute la calidad del producto en la siguiente sección.

Mediante los resultados obtenidos en el proceso de reciclaje podemos **observar** que usando **el** tipo de espuma **compacta** se recupera un **alto** porcentaje de zinc (un promedio **del** 66% aproximadamente); mientras que usando la espuma **del** tipo granular se recupera **poco** zinc (un promedio **del** 35,5%), **esto** se debe **fundamentalmente** a que en la espuma tipo granular existe gran cantidad de **tierra**; mientras que en la **del** tipo **compacta** la cantidad de tierra es **menor**. P'or otro lado, con **un** buen control de la temperatura en **el** proceso se **podría** recuperar mas zinc. La **pérdida** de zinc en **el** reciclaje **está** entre 10 al 15%.

Los resultados obtenidos en los diferentes intentos de **fusión** de la **aleación** de cobre UNS C86500 **muestran** por ejemplo que en **el** primer **intento** hubo una **gran cantidad** de **pérdida** en peso (63.4%) esto se **debió** a que **el** cobre no se **mezcló** con los **demás** elementos y lo que se obtuvo **fue** un tipo de **aleación** rica en zinc. La **causa** por el **cual** no se **mezcló** el cobre en la aleacion se debe fundamentalmente a la **falta** de control de la **temperatura** en el proceso, lo que produjo que el cobre se solidificara en **el** crisol por **falta** de **calor**.

Revisando lo **ocurrido** en el **segundo** intento de fusion **observamos** que la mezcla se **realizó** y se obtuvo una **pérdida** en peso **relativamente** baja (8.97%) pero **fue necesario** realizar una **refusión** ya que la mezcla **al parecer** no era **homogénea** le **faltó** **agitación**, esto se deduce porque al

romper la **probeta** en dos secciones se **observó** que el color **del** area de fractura era diferente al de la otra **área** .

En la **refusión** se **agitó** muy bien la colada y se obtuvo esta vez una mezcla **homogénea** ya que **los resultados del** ensayo de **planta fueron** satisfactorios, se **mostró** una **alta** ductilidad, buena resistencia, aunque se **observó** un **tamaño** de grano un **tanto grueso** con una cantidad considerable de poros. La presencia de poros posiblemente se debe a que la colada **llegó** a una temperatura demasiado elevada lo **cual** trae **como** consecuencia la **absorción** de gases en el metal; en lo que **respecta** al **tamaño del** grano, se debe posiblemente a la falta de **algún elemento** como por ejemplo el hierro que es un afinador de grano. Los resultados **del análisis químico** mostraron que el hierro y el manganeso estaban en una proporción demasiado baja (0.07% aproximadamente), cuando la norma **indica para el caso del** hierro 0.4% **como mínimo** y **2% como máximo**; en cambio el manganeso no tiene valor **mínimo** por lo que el valor obtenido no afecta mayormente a la **aleación**.

Los resultados **del** cuarto **intento** de fusión, realizando todas las correcciones debidas, mostraron en **los** ensayos de **planta** una resistencia muy buena con una ductilidad **alta** (**ángulo** de fractura de 65" aproximadamente) un **tamaño** de grano **fino** y las porosidades disminuyeron **considerablemente**. De **los** resultados **del análisis químico** que se muestran en la tabla # 19 se deduce que la presencia de hierro

determina el afinamiento del grano en la aleación de cobre; en cambio el factor temperatura determina la presencia de porosidades en la **aleación**.

Con respecto a la **elaboración de la aleación de zinc ZA-27** se debe **señalar** ante **todo** que obtener esta **aleación fue** menos complicada que la anterior. Los resultados que se **muestran** en la tabla # 23 y que corresponden al ensayo de **planta** obtenidos en el primer **intento de fusión** fueron aceptables, aunque la resistencia era un **tanto** elevada y la dureza **también**. **Hecho** que se explica con el resultado **del análisis químico el cual** muestra una **pérdida** considerable de zinc y el **consecuente** aumento en el porcentaje de **aluminio** (subió al **32,8%**) cuando la **norma indica** entre 25-28%. Cabe **señalar** que el **aluminio** es el responsable **del** aumento de la resistencia y de la dureza en la **aleación**.

En el Segundo y **último** intento de **fusión**, tomando en cuenta **las** correcciones **del caso**, se obtuvo una **pérdida** en peso **baja (1,97%)**; esto se debe al estricto control de la temperatura que se tuvo en el **proceso de fusión** y que es **causa** principal de la **pérdida** de zinc en la **aleación**. Los resultados de **planta** mostraron una resistencia muy buena, **poca** ductilidad (**ángulo de fractura de 8"**) y un **tamaño** de grano **fino** y sin poros. Al parecer se obtuvo la **aleación de zinc**, **afirmación** que la verificamos con el **análisis químico**, el cual **mostró un 27,1%** de Al y un **0,09%** de Fe.

3.2 SOBRE EL PRODUCTO OBTENIDO

Luego de haber realizado las pruebas en el laboratorio a las aleaciones fabricadas y haber obtenido resultados que se muestran en la tabla 28 y 29 ; procedemos a hacer un análisis de las propiedades obtenidas con los de la norma ASTM para fundición en molde de arena.

Por ejemplo en la prueba de dureza realizada a la aleación de cobre UNS C86500 se observó que después de haber tomado cinco lecturas en distintos lugares de la muestra, se determinó una dureza promedio de 103 HB, cuando la norma indica aproximadamente 98 HB ; resultado que es aceptable.

Con relación al ensayo de tensión para la misma aleación los resultados fueron : resistencia a la tracción 45,9 kgf/mm² (450 Mpa.), resistencia a la fluencia 18,1 kgf/mm² (178 Mpa.), porcentaje de elongación 28 %. Comparados con la norma ASTM tenemos: resistencia a la tracción 490 Mpa., resistencia a la fluencia 195 Mpa. , porcentaje de elongación 30% .

Los resultados encontrados en la aleación de cobre no satisfacen con las normas ASTM establecidas, aunque están muy próximas y constituyen una excelente aproximación. En todo caso la desviación no es mayor al 10% en todas las medidas de propiedades que indican las normas.

La explicación para tal desviación se la encuentra en los resultados del análisis químico, que por limitaciones en el tiempo no se realizaron pruebas adicionales para tener una composición de mayor precisión. La falta de resistencia en la aleación se debe a que varios elementos están en un bajo nivel; en especial el hierro cuyo contenido no supera el 0,6 % cuando su proporción podría llegar hasta el 2 %. Las deficiencias en cuanto ductilidad se deben mas bien a los niveles de Ni (0,12%) y Sn (0,45%), dichos elementos pueden incrementarse para mejorar la ductilidad.

Con relación a la aleación de zinc ZA-27 , ésta mostró las siguientes propiedades : dureza promedio 117 HB, resistencia a la tracción 40,9 kgf/mm² (401 Mpa.) , resistencia a la fluencia 37,5 kgf/mm² (368 Mpa.) , porcentaje de elongación 3,0 % ; comparados con los de la norma ASTM tenemos : resistencia a la tracción 400 a 440 Mpa. , resistencia a la fluencia 365 Mpa. , porcentaje de elongación 3 a 6 % .

Comparando estos resultados podemos decir que la aleación de zinc ZA-27 cumple con las normas establecidas por la ASTM.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

1. Se ha logrado fabricar la aleación de cobre UNS C86500 con propiedades similares a los de la norma, mientras que la aleación de zinc ZA-27 se ha fabricado con certificación de la norma ASTM.
2. Se recupera mas zinc utilizando la espuma tipo compacta. Aunque en términos generales la recuperación de zinc en el proceso de reciclado oscila entre un 45 a 50% del peso total de la espuma.
3. Existen varios factores, como por ejemplo el control de la temperatura, control de la composición, agitación de la colada, etc. ; que influyen en la calidad del material obtenido en la fundición.
4. Mediante los ensayos de planta se obtiene una idea bastante clara sobre las características mecánicas de la aleación fabricada y a través de ello controlar de alguna manera la calidad del producto.
5. Obtener la aleación de cobre UNS C86500 es mucho mas complicado que obtener la aleación de zinc ZA-27, debido a las características del material.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la búsqueda de otras fuentes de obtención de chatarra para que por medio del reciclaje sirvan para fabricar aleaciones de uso común en la industria.
2. Se sugiere utilizar los lingotes reciclados de la aleación madre Zn-Fe para la fabricación de los bronce al manganeso en general.
3. Se podría obtener otras aleaciones en base zinc, al igual que la ZA-27, donde el hierro represente una impureza permisible en los lingotes reciclados de zinc.
4. Se debería considerar, por parte de los empresarios e industriales, la posibilidad de invertir en una empresa que se dedique a la producción de lingotes certificados a partir de chatarra clasificada.

BIBLIOGRAFÍA

1. BURNS y BRADLEY , Recubrimientos Protectores de los Metales, Ediciones Interciencias, Madrid, 1972, 111-125 p.
2. ASM International METALS HANDBOOK, Volumen5, Ninth Edition, Surface Cleaning, Finishing and Coating, USA, 1989, 323-326 p.
3. PROSKURKIN y GORBUNOV , Galvanizing Sherardizing and other Zinc Diffusion Coatings, Metallurgiya Press, Moscú, 1972, 14-19 p.
4. KIRK y OTHMER, Enciclopedia de Tecnología Química, Volumen 14, Ediciones Hispano-Americana, México, 1962, 49-53 p.
5. KIRK y OTHMER, Enciclopedia de Tecnología Química, Volumen 2, Ediciones Hispano-Americana, México, 1962, 256-259 p.
6. ASM International METALS HANDBOOK, Volumen 2, Ninth Edition, Properties and Selection : Non Ferrous Alloys and Pure Metals, USA, 1989, 412-415 p.
7. ASM International METALS HANDBOOK, Volumen 15, Ninth Edition, Casting, USA, 1989, 711, 786-788 p .
8. American Foundrymen's Society, Inc, Casting Copper-Base Alloys, Desplaines, Illinois, USA, 1984, 113 p.
9. AVNER H. Sydney, Introducción a la Metalurgia Física, Segunda Edición, McGraw-Hill, México, 1988, 460-467 p.
10. ASM International METALS HANDBOOK, Volumen 9, Ninth Edition, Metallography and Microstructures, USA, 1989, 492 p.

11. ORELLANA, S. Fabricación de la aleación Bronce al Silicio bajo norma americana UNS C87200 (SAE J462), Tesis Ingeniera Mecánica, Guayaquil-Ecuador, 1996, pp. 45-54, 84-95.
12. MARTINEZ, E. Reciclaje de Materiales para la producción de aleaciones normalizadas de Zn-Al, Tesis Ingeniero Mecánico, Guayaquil- Ecuador, 1983, pp. 46-57, 104-111.