

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA**



**ESTUDIO DE LA FABRICACION DE LA
ALEACION Zn-12Al**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO METALURGICO

LEONCIO QUIÑONES CASTILLO

PROMOCION : 1986-II

LIMA - PERU

1992

AGRADECIMIENTO

A mi querido padre, hermanos y a mi querida esposa Cecilia, por los sabios consejos y apoyo en todo momento.

Asimismo, mi reconocimiento a todos los docentes de la Escuela de Metalúrgia, en especial a mis asesores que han hecho lo posible para alcanzar este logro.

I N D I C E

I.-	GENERALIDADES	Pag
I.-	Exposición de motivos	1
II.-	Resumen	4
II.-	ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA	
1.-	Estudio del zinc	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Propiedades del zinc	2
1.3.	Extracción	2
1.4.	Aleaciones de zinc	3
1.5.	Producción	5
2.-	Estudio del Aluminio	6
2.1.	Introducción	6
2.2.	Propiedades del aluminio	7
2.3.	Extracción	8
2.4.	Aleaciones de aluminio	9
III.-	TECNOLOGÍA DE FABRICACION	
1.-	Fusión	1
1.1.	Hornos utilizados	3
1.2.	Influencia de la recirculación del material	3
2.-	Influencia de los elementos aleantes	4
3.-	Proceso de fabricación	7
3.1.	Técnica de fundición	7
3.2.	Sistema de moldeo	9
4.-	Sistema de alimentación y alimentadores	12
4.1.	Generalidades	12
4.2.	Posición de la pieza en el molde	14
4.3.	Distancia de alimentación	15
4.4.	Relación de áreas	15
4.5.	Diseño de risers	16

5.-	Prueba experimental	18
5.1.	Introducción	18
5.2.	Práctica de fusión	18
5.3.	Resultados	19
6.-	Propiedades de Fundición	20
7.-	Maquinado	21
8.-	Soldabilidad	24
9.-	Recubrimientos Superficiales	25
IV.-	PROPIEDADES DE INGENIERIA	
1.-	Propiedades mecánicas	1
1.1.	Preparación de probetas	1
1.2.	Técnica de ensayo	1
1.3.	Ensayo de tracción	1
1.4.	Resistencia al impacto	2
1.5.	Dureza	2
2.-	Metalografía	6
2.1.	Preparación de probetas	6
2.2.	Reactivos de ataque	8
2.3.	Observación macrográfica	9
2.4.	Observación micrográfica	10
2.5.	Influencia de los elementos aleantes en la microestructura	15
V.-	TRANSFORMACIONES DE FASES	
1.-	Envejecimiento	1
1.1.	Generalidades	1
1.2.	Transformaciones	2
1.3.	Diagrama de fases	3
1.4.	Mecanismos de envejecimiento	4
1.5.	Práctica de envejecimiento	10
1.6.	Influencia del tiempo	11
1.7.	Influencia de la temperatura	11

2.-	Ensayos metalurgicos	
2.1.	Ensayos mecánicos	12
2.2.	Analisis metalografico	17
3.	Influencia de los elementos aleantes	

VI.- APLICACIONES

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S

C A P I T U L O I

I.- EXPOSICION DE MOTIVOS :

El trabajo que a continuación presento como Tesis para obtener el Título de Ingeniero Metalurgista, fue auspiciado parcialmente por MINERO PERU S.A., como parte de sus tareas sobre la investigación de la metalurgia de transformación del zinc, aspecto que para el Perú, que posee grandes reservas de zinc, adquiere una fuerte importancia en la búsqueda de su amplia aplicación.

Tradicionalmente a las aleaciones de zinc se las conoce como ZAMAK, aleaciones que contienen 4.5 % de aluminio como máximo; estas aleaciones se usan para fabricar piezas por inyección, mas no en moldes de arena o moldes permanentes.

Durante ésta última década la industria del zinc ha desarrollado aleaciones de fundición por gravedad, las cuales pueden ser coladas en moldes de arena ó moldes permanentes; así tenemos Zn-8Al, Zn-12Al, Zn-15Al, Zn-22Al y Zn-27Al.

La International Lead Zinc Research Organization (ILZRO) ha designado a las aleaciones usadas para fabricar piezas por fundición como ILZRO 8, ILZRO 12 e ILZRO 27; la aleación Zn-15Al es ideal para procesos de fabricación por extrusión y es conocida como KORLOY y la aleación Zn-22Al es una aleación que tiene una alta plasticidad, ideal para procesos de laminación, y es conocida como aleación superplástica.

El presente trabajo consiste en hacer el estudio de la fabricación de la aleación Zn-12Al ó ILZRO 12 que ya es algo conocida comercialmente. En nuestro medio no es muy conocida esta aleación; muchas fundiciones la desconocen completamente, tal vez por la poca información que se tiene.

Estudios de investigación de esta aleación empezaron por el año 1959, auspiciados por la ILZRO, obteniéndose buenos resultados.

Por el año 1967, recién fue introducida en forma comercial debido a que esta aleación tenía propiedades que superaban a las de los latones, bronces, aluminio y fierro fundido. Además, su proceso de fabricación es sencillo, no se requiere de una alta tecnología; y se pueden fabricar piezas en moldes de arena, yeso, moldes permanentes, etc.

Las bondades que presenta esta aleación las enumeramos a continuación:

- 1.- Bajo consumo de energía (130 Kw/Tn)
- 2.- Bajas pérdidas de fusión
- 3.- El grado de oxidación y absorción de gases es mínimo
- 4.- No es necesario el uso de desgasificantes, desoxidantes ni fundentes
- 5.- Se puede usar cualquier tipo de arena (natural o sintética)
- 6.- Pueden usarse moldes en yeso, cáscara, cera perdida y moldes permanentes
- 7.- Los recubrimientos de los moldes pueden ser de grafito, hulla, sea coal, etc.

- 8.- Exhibe una alta fluidez
- 9.- Se pueden fundir piezas hasta de 1 mm de espesor
- 10.- Buen acabado superficial
- 11.- Buenas propiedades mecánicas
- 12.- Buena exactitud dimensional
- 13.- Buena maquinabilidad
- 14.- Buena resistencia a la corrosión.

Por las ventajas expuestas anteriormente esta aleación tiene múltiples aplicaciones en grifería, aparatos eléctricos y electrónicos, maquinaria de panadería, maquinaria textil y de ferretería.

El Perú cuenta con la materia prima suficiente, la cual se está vendiendo al exterior como aleaciones ZAMAK en forma de lingotes, barras de zinc electrolítico, etc., es decir, no se le da el verdadero valor a nuestra riqueza. Si esta materia prima la transformamos mediante la fabricación de accesorios y/o piezas terminadas estaríamos satisfaciendo las necesidades más urgentes de la industria nacional, e incluso podríamos incursionar en el mercado de exportación.

Por lo expuesto anteriormente y a falta de información concerniente a la fabricación de esta aleación, se eligió el presente tema para hacer, de este modo, el estudio del proceso de fabricación de la aleación Zn-12Al con lo cual espero contribuir con tecnología nacional en la fabricación de aleaciones de zinc en nuestro país.

II.- RESUMEN:

Las aleaciones a base de zinc fueron introducidas a la fundición por inyección por el año 1920. Anteriormente este tipo de fundición solo se aplicaba para el plomo y estaño, metales de bajo punto de fusión.

Comercialmente estas aleaciones se conocen como ZAMAK o aleaciones MAZAK; en la actualidad existe una amplia variedad de ZAMAK. Los constituyentes básicos de los ZAMAKs son el zinc, aluminio, cobre y magnesio; los primeros estudios se hicieron con una aleación cuaternaria Zn-Al-Cu-Mg (Zamak 2), aleación con alto porcentaje de cobre, con buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, pero con alta inestabilidad dimensional.

Por el año 1930 se desarrolló una aleación ternaria Zn-Al-Mg (Zamak 3), esta aleación tiene un porcentaje de cobre mínimo y tiene buenas propiedades mecánicas y buena estabilidad dimensional.

Más tarde se desarrolló una aleación cuaternaria Zn-Al-Cu-Mg (Zamak 5), semejante a la Zamak 2 pero con menos cobre la cual tiene propiedades intermedias entre el Zamak 2 y Zamak 3; esta aleación tiene mejor resistencia mecánica que el Zamak 3 y mejor estabilidad dimensional que el Zamak 2 y buena resistencia al creep.

Finalmente se desarrolló una aleación Zn-Al-Mg-Ni (Zamak 7); las propiedades mecánicas son semejantes a las del Zamak 3, tiene alta ductilidad y buena colabilidad.

Las aleaciones más comerciales son los Zamak 3, 5 y 7; éstas se funden en inyectoras de cámara caliente.

Debido al alto volumen que se tenía que producir para que sea rentable, se vió la necesidad de investigar una aleación de zinc que sea fundida en arena o coquilla; es así que por el año 1959 a 1962 la International Lead Zinc Research Organization auspició un Programa de Investigación para el desarrollo de dicha aleación en la New Jersey Zinc Company, el cual culminó con el desarrollo de una aleación que contiene 10.5 a 11.5 % de Al, 0.5 a 1.0 % de Cu y 0.01 a 0.03 % de Mg ; a esta aleación se le dió el nombre de ILZRO 12.

Las características de colada y propiedades mecánicas de esta aleación han probado ser especialmente adecuadas para muchas aplicaciones de fundición en las cuales predominaban las aleaciones de cobre, aluminio y hierro fundido.

Para la fabricación de esta aleación no es necesario utilizar desoxidantes, fundentes y/o desgasificantes, ya que el grado de oxidación y la absorción de gases son mínimos si se hace un buen proceso de fusión.

El consumo de energía es bajo comparado al de las aleaciones tradicionales; para el caso del hierro fundido es la cuarta parte, para los broncees la mitad, y comparado con el aluminio las tres cuartas partes.

Una característica fundamental de esta aleación es su relativa insensibilidad a la velocidad de

enfriamiento, la cual no tiene efecto preponderante sobre las propiedades mecánicas; es por ello que se puede colar en moldes de arena, yeso, coquilla y otros.

A continuación hacemos un breve resumen de cada capítulo.

En el Capítulo 2 hacemos un estudio sobre la materia prima principal que se utiliza para fabricar esta aleación.

En el Capítulo 3 se trata sobre la tecnología de la fabricación de la aleación; es decir, los hornos a utilizar, el proceso de fusión, el proceso de fabricación, controles, maquinado, acabado superficial y algunas aplicaciones que se están dando en otros países.

En el Capítulo 4, hacemos una evaluación de las propiedades mecánicas de la aleación y su relación con el análisis metalográfico (que comprende análisis macrográfico y análisis micrográfico).

En el Capítulo 5, se hace énfasis sobre el estudio de los tratamientos térmicos o transformación de fases, y se analiza la influencia del tiempo y la temperatura en la transformación de fases mediante pruebas de ensayos mecánicos y metalografía.

Finalmente, en los Capítulos 6 y 7 se dan algunas aplicaciones para la aleación estudiada y las conclusiones del trabajo realizado, así como también las recomendaciones para trabajos futuros.

C A P I T U L O I I

E S T U D I O D E L A
M A T E R I A P R I M A

C A P I T U L O I I

ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA

1.- ESTUDIO DEL ZINC.

1.1 Introducción.

La metalurgia del zinc fue desarrollada en la China, según los historiadores, por el año 600 A.C, aunque en la India el zinc ya era conocido por el año 1200 A.C.

Durante muchos siglos este metal no tenía importancia industrial; recién a partir del año 1200 D.C., el zinc llega a tomar importancia con la fabricación del latón y posteriormente del bronce.

Al pasar los años, los países industrializados empiezan a producir zinc y a buscarle nuevas aplicaciones; en 1743 son los ingleses, luego en 1807 los belgas, finalmente en 1840 en América.

En la actualidad el zinc se utiliza en la fabricación de pinturas, en galvanotécnica, en la industria eléctrica, en la industria química, en la fabricación de piezas, etc., lo cual hace que tenga una cotización semejante a la del cobre.

1.2 Propiedades del zinc.

El zinc es un metal pesado, cristaliza en el sistema hexagonal, tiene buena conductividad térmica, etc. En el Cuadro I se resumen algunas de las principales propiedades del zinc.

C U A D R O I

DENSIDAD	gr/cc	7.13
PUNTO DE FUSION	°C	419.4
PUNTO DE EBULLICION	°C	907.0
COEFICIENTE DE DILATACION	mm/°C	4×10^{-5}
CONDUCTIVIDAD TERMICA	cal/cm ² /cm/°C/s	0.32
CALOR ESPECIFICO (50°C)	cal/gr/°C	0.094

1.3 Extracción.

La extracción del zinc se puede realizar por vía húmeda (hidrometalurgia) en la cual se usa ácido sulfúrico; o por vía seca (pirometalurgia) usando carbón y energía. A continuación se hace' mención de los principales métodos de extracción:

- 1.- Proceso electrolítico
- 2.- Proceso de retorta horizontal
- 3.- Proceso de retorta vertical
- 4.- Proceso de vaporización
- 5.- Proceso Imperial Smelting

1.4 Aleaciones de zinc.

Las aleaciones de zinc podemos clasificarlas en tres grupos:

Aleaciones para fundición por inyección
Aleaciones para fundición por gravedad
Aleaciones para conformación mecánica.

1.4.1 Aleaciones para fundición por inyección.

Estas aleaciones son conocidas comúnmente como ZAMAK, y se caracterizan por estar constituidas básicamente por zinc, aluminio, cobre y magnesio. Su aplicación industrial data del año 1920.

Por el año 1960 se desarrolló una nueva aleación la cual contiene cromo, cobre y titanio.

1.4.2 Aleaciones para fundición por gravedad.

Las aleaciones para fundición por gravedad son relativamente nuevas; recién aparecen por el año 1967 con la aleación con 12 % de aluminio; más tarde surgieron dos aleaciones más con 8 y 27 % de aluminio.

1.4.3 Aleaciones para conformación mecánica.

Estas aleaciones se pueden clasificar en tres grupos:

- Aleaciones para productos laminados
- Aleaciones para productos trefilados
- Aleaciones para productos extruídos

1.4.3.1 Aleaciones para productos laminados.

Estas aleaciones se caracterizan por tener un bajo porcentaje de elementos aleantes, a excepción de las aleaciones superplásticas. Los principales elementos aleantes de estas aleaciones son: cobre, plomo, titanio, cadmio, fierro, aluminio y magnesio. A continuación indicamos las principales aleaciones de este grupo:

- Aleación Zn-Cu; posee buena resistencia mecánica y al creep.
- Aleación Zn-Cu-Ti; usada en la fabricación de planchas de espesores delgados.
- Aleación Zn-Pb-Cd-Fe; usada en la industria eléctrica.
- Aleación Zn-Al-Mg; usada en fotograbado.

Además, se tienen las aleaciones Zn-22Al, conocidas como aleaciones superplásticas, caracterizadas por tener una alta plasticidad.

1.4.3.2 Aleaciones para productos trefilados.

Las aleaciones de zinc usadas en productos trefilados se caracterizan por no contener en su composición cobre ni magnesio, el aluminio puede estar

presente o no; estas aleaciones se conocen comercialmente como ZINACOR; en el mercado existe una variedad de estas aleaciones, Ejm.: Zinacor 850: 15 % Al, 0.003 % Pb, 0.0015 % Fe, 0.001 % Cu, 0.003 % Cd

1.4.3.3 Aleaciones para productos extruídos

Las aleaciones de zinc usadas para productos extruídos se caracterizan por contener cobre y magnesio, el aluminio puede estar presente o no; estas aleaciones se conocen comercialmente como KORLOY; en el mercado existe una variedad de estas aleaciones, Ejm.: Korloy 2573: 14.5 % Al, 0.02 % Mg, 0.7 % Cu.

1.5 Producción.

En el cuadro siguiente (Cuadro N° II) se indica la producción de zinc total en el Perú.

C U A D R O I I

Año	T.M.
1977	66,949
1978	62,851
1979	68,195
1980	59,424
1981	126,159
1982	160,232
1983	153,966
1984	148,372
1985	162,725
1986	155,811
1987	148,828
1988	125,719
1989	137,946

Fuente de información.

Anuario de la minería del Perú, 1989.

Ministerio de Energía y Minas.

2.- ESTUDIO DEL ALUMINIO

2.1 Introducción.

En 1709, MARGRAF identificó al aluminio como un constituyente del alumbre; más tarde, en 1827, WOHLER consiguió reducir el alumbre con potasio obteniendo

aluminio de baja pureza con lo cual no era posible evaluar las propiedades.

Por los años 1852-1854 , STAINTE & CLAIRE perfeccionaron el trabajo de Wohler obteniendo aluminio de mayor pureza, con lo cual si se podía evaluar las propiedades; finalmente a partir de 1859 se comenzó a producir aluminio a nivel industrial.

2.2 Propiedades del aluminio.

El aluminio es un metal de baja densidad, cristaliza en el sistema cúbico, tiene alta plasticidad, buena conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. En el Cuadro III (A y B) se resumen las principales propiedades mecánicas y físicas del aluminio.

C U A D R O I I I - A

Propiedades mecánicas.

RESIST. A LA TRACCION	Kg/mm ²	4-5
MODULO DE ELASTICIDAD	Kg/mm ²	6500-7000
ELONGACION	%	50

C U A D R O I I I - BPropiedades físicas.

DENSIDAD	gr/cc	2.703
PUNTO DE FUSION	°C	660
PUNTO DE EBULLICION	°C	2270
COEF. DE DILATACION LINEAL	mm/°C	24×10^{-6}
CALOR ESPECIFICO (20 °C)	cal/gr	0.2259
RESISTIVIDAD	$\mu \Omega/\text{cm}^2/\text{cm}$	2.84
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	% IACS	62
CONDUCTIVIDAD TERMICA	cal/cm/cm ² /s/°C	0.52

2.3 Extracción.

El proceso de extracción del aluminio consiste en obtener primero la alúmina (óxido de aluminio), luego éste óxido es reducido por electrólisis a una temperatura de 900 - 1100 °C con fluoruros de aluminio, de sodio y de calcio. A continuación se mencionan los principales métodos para la obtención de la alúmina:

- 1.- Proceso Bayer.
- 2.- Proceso de la Reynolds Metal Company.
- 3.- Proceso ALCOA.
- 4.- Proceso Ste-Claire Deville.
- 5.- Proceso Federsen.
- 6.- Proceso Buchner.

2.4 Aleaciones de aluminio.

Las aleaciones de aluminio se pueden clasificar en dos grupos:

- Aleaciones de fundición
- Aleaciones para conformado.

2.4.1 Aleaciones de fundición.

Las aleaciones de aluminio se pueden fundir usando los métodos de fundición por gravedad, fundición centrífuga y fundición por inyección.

Cada proceso requiere de ciertas características del metal; para el caso de la fundición por gravedad el porcentaje de eutécticos debe ser bajo, y en la fundición por centrífuga y en la de inyección el metal debe tener una alta fluidez y resistencia a la rajadura en caliente.

La American Society for Metals clasifica a las aleaciones de aluminio en seis grupos que son: Aleaciones Al-Cu, aleaciones Al-Cu-Si, aleaciones Al-Si, aleaciones Al-Mg, aleaciones Al-Zn-Mg y aleaciones Al-Sn.

2.4.2 Aleaciones para conformado.

En este grupo están contenidas todas las aleaciones que son usadas en procesos de conformación mecánica, tales como: laminación, extrusión, trefilado y forja.

La American Society for Metals clasifica estas aleaciones en siete grupos que son: Aleaciones Al-Cu, aleaciones Al-Mn, aleaciones Al-Si, aleaciones Al-Mg, aleaciones Al-Mg-Si, aleaciones Al-Zn, y aleaciones Al- (otros elementos).

C A P I T U L O I I I

T E C N O L O G I A D E

F A B R I C A C I O N

C A P I T U L O I I I

TECNOLOGIA DE FABRICACION

1.- FUSION

La fusión de la aleación Zn-12Al se puede hacer usando hornos a gas, a petróleo o de inducción; utilizando crisoles de arcilla, grafito o carburo de silicio; no se recomiendan crisoles de fierro, ya que el aluminio disuelve al fierro, ni tampoco crisoles contaminados con plomo, cadmio y estaño; similar cuidado se debe tener con las herramientas que van a ser utilizadas en la fusión del metal, estas deben estar recubiertas con pintura refractaria.

Debido a que esta aleación funde a baja temperatura se debe tener cuidado de no sobrepasar los 700 °C para evitar la pérdida de zinc

Esta aleación no es sensible a las variables de fundición tales como el sobrecalentamiento y la refusión repetida; la variación de la temperatura de colada no afecta a las propiedades mecánicas.

El bajo punto de fusión conlleva a un menor consumo de energía; pruebas experimentales indican que la energía consumida para fundir esta aleación es de 130

Kwh/Tn, para el latón 400 Kwh/Tn, para el aluminio 220 Kwh/Tn y para el hierro fundido 500 Kwh/Tn; además el tiempo de fusión es menor, siendo dos veces más rápido que el aluminio, o tres veces más rápido que el bronce.

Las aleaciones de zinc no son sensibles a la absorción de gases, no es necesario hacer un tratamiento especial tal como el desgasificado; para mejorar el escoreado se puede usar Cloruro de Amonio o Sincrex, que es una mezcla de cloruro de amonio y cloruro de zinc; debido a que este material es higroscópico se debe mantener lejos de la humedad para conservar sus propiedades.

Para la fusión se debe hacer en primer lugar una aleación madre de aluminio y cobre para bajar el punto de fusión del cobre y así tener menos pérdidas por exceso de temperatura; para obtener buenos resultados se debe fundir en el menor tiempo posible el 75 % de la carga, la cual debe contener aleación madre, aluminio y zinc; una vez fundido, apagar el horno y agregar el 25 % de carga restante.

Durante la fusión se debe agitar el baño, esto debido al alto peso específico del zinc que se asienta en el fondo, mientras que el aluminio tiende a flotar produciendo así un caldo heterogéneo con alto porcentaje de escoria de óxido de aluminio. El tiempo de colada debe ser el más corto posible para evitar problemas de segregación.

La composición química de la aleación Zn-12Al es la siguiente:

<u>Elemento</u>	<u>Porcentaje</u>
Al	11-11.5
Cu	0.5-1.0
Mg	0.01-0.03
Fe	0.075 máx.
Pb	0.004 máx.
Cd	0.003 máx.
Sn	0.002 máx.
Zn	resto

1.1 Hornos utilizados

La fabricación de esta aleación se puede hacer usando los hornos convencionales de fundición no ferrosa tales como hornos de crisol, rotatorios, de inducción, de reverbero, etc.

1.2 Influencia de la recirculación del material

La recirculación de la chatarra de fundición de Zn-12Al no ha originado ningún problema en especial, siempre y cuando la chatarra contenga lo mínimo de Fe, Sn, Pb y Cd, para conseguir la composición adecuada.

En la fusión no se requiere ningún ajuste en la composición del caldo, a excepción del Mg que se pierde; en caso de tener como carga de recirculación alimentadores de gran tamaño se debe agregar algo de zinc para bajar el porcentaje de Al.

Por la experiencia se ha encontrado que el material de retorno debe ser el 50 % como máximo; lo demás debe ser material virgen.

2.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES.

2.1 Aluminio

El aluminio tiene una gran influencia en las aleaciones de zinc; aumenta la resistencia y la dureza, y mejora la fluidez y la resistencia a la corrosión.

2.2 Cobre

El cobre aumenta la resistencia a la corrosión, la resistencia mecánica, la dureza y la resistencia al creep, pero reduce la resistencia al impacto. El porcentaje no debe sobrepasar del 1 % para conseguir buenos resultados; si es mayor tiende a formar fases inestables lo que hace que no sea dimensionalmente estable.

2.3 Magnesio

El magnesio es efectivo en pequeños porcentajes, y forma compuestos intermetálicos. El Mg inhibe la corrosión intergranular debido a que el Mg es menos electronegativo que el Zn (la electronegatividad del Mg es 1.2 y del Zn es 1.6) Esto reduce la diferencia de potencial entre el Zn y los eutécticos de Pb, Cd y Sn que

se encuentran en los bordes de grano.

Si el porcentaje de Mg es mayor a 0.03 % trae problemas en la fundición e incrementa la fragilidad en caliente de la pieza fundida, principalmente en piezas complicadas donde no se tiene el espacio suficiente para permitir una buena contracción; además se incrementa la corrosión intergranular, y disminuye la fluidez, la resistencia al impacto, la dureza y la elongación.

2.4 Fierro

El fierro forma con el Al fases duras ($FeAl_3$ y Fe_2Al_5) que pueden causar problemas en el maquinado. Sin embargo, con los bajos porcentajes de Fe con que se trabaja no se ejerce influencia perceptible en las propiedades mecánicas.

2.5 Estroncio

A niveles de 0.06 % el Sr no tiene mucha influencia en la resistencia mecánica; a mayores porcentajes tiende a reducir la ductilidad, la resistencia al impacto y la contracción de solidificación.

2.6 Silicio

El silicio incrementa la resistencia y la dureza y controla la estabilidad dimensional debido a que forma

fases estables.

2.7 Plomo, Cadmio y Estaño

Estos elementos son de alta densidad y bajo punto de fusión, tienen poca solubilidad con el Zn, forman eutécticos con el Zn a bajas temperaturas, los cuales durante la solidificación se segregan en los bordes de grano.

Estos metales son más nobles que el Zn, son altamente electronegativos (la electronegatividad del Pb es 1.8, la del Sn es 1.8 y la del Cd es 1.7). Los eutécticos que ellos forman con el Zn generan celdas electroquímicas activas a lo largo de los bordes de grano cuando la superficie del material está en contacto con la humedad; empezando así la corrosión del material en los bordes de grano (corrosión intergranular). Esta corrosión puede ser atenuada adicionando Mg el cual reduce la diferencia de potencial entre el Zn y los eutécticos. Por otro lado, si los porcentajes de Pb, Cd y Sn son altos provocan la fragilidad en caliente.

3.- PROCESO DE FABRICACION

3.1 Técnica de Fundición

La fabricación de la aleación Zn-12Al puede hacerse usando las técnicas de la fundición no ferrosa tradicional; los hornos utilizados son los mismos; es más, en este caso se puede utilizar hornos de resistencia eléctrica. Las herramientas que están en contacto con el caldo deben ser recubiertas con pinturas especiales.

La fabricación de piezas con esta aleación es recomendable hacerla por gravedad usando moldes permanentes, moldes de arena, moldes en cáscara, moldes de yeso, etc.; también es posible hacerlo por inyección.

En la preparación de los moldes de arena a usarse pueden seguirse los procedimientos de la fundición no-ferrosa en general. Debido a la alta fluidez y baja temperatura de colada es recomendable usar arenas de grano fino para obtener un buen acabado superficial. Se debe prestar mucha atención a las líneas de partición ya que esta aleación fluye aún en espacios pequeños. Debido a la nula absorción de gases puede tolerarse una baja permeabilidad de los moldes.

Las tolerancias de contracción para los moldes deberán ser de 5/32 pul/pie.

Se recomienda utilizar almas no muy duras; debido a su bajo punto de fusión se pueden tener problemas de colapsabilidad; por ello se debe usar bajo porcentaje de

ligante para que las almas colapsen fácilmente.

Los sistemas de alimentación deberán estar diseñados de tal manera que se evite el flujo turbulento del metal y permita una solidificación progresiva. Se recomienda entradas anchas y delgadas antes que cuadradas para eliminar los puntos calientes; también los puntos calientes se evitan usando alimentadores múltiples.

La experiencia ha demostrado que no es necesario el uso de risers en piezas de sección uniforme con menos de 25 lbs.

Para la práctica de fusión a escala industrial se recomienda seguir los siguientes pasos:

- 1.- Cargar el horno las $3/4$ partes de su capacidad y aplicar el calor hasta ligera fusión del material.
- 2.- Apagar el horno y agregar la $1/4$ parte restante.
- 3.- Agitar vigorosamente para homogenizar el caldo alcanzada la temperatura de $450 - 510$ ° C, escorear y agregar el magnesio en una campana.
- 4.- Si se utiliza Sincrex (fundente), éste se adiciona cuando se está agitando el baño, luego escorear y finalmente agregar el magnesio en una campana.

5.- Medir la temperatura y colar en el menor tiempo posible.

TEMPERATURAS DE COLADA

Espesor	Temperatura
<u>mm</u>	<u>°C</u>
> 6.4	441-469
6.4	454-510
2.4	482-538

3.2 Sistema de Moldeo

3.2.1 Moldes de arena en verde

Debido a la baja temperatura de colada, para su fabricación se puede utilizar cualquier tipo de arena (natural o sintética), no se requiere de una arena especial.

Para piezas delgadas las cuales requieren de un buen acabado superficial y exactitud dimensional se debe usar arena fina 150 - 200 AFS; en piezas que no tienen mucha exigencia se puede utilizar arena >90 AFS.

Un acabado superficial se puede mejorar utilizando pintura a base de grafito; la variación de la dureza, permeabilidad y humedad del molde no tiene influencia en la fabricación de esta aleación si se hace una buena práctica de colada.

3.2.2 Moldes en cáscara

Los moldes en cáscara se utilizan cuando se requiere una buena exactitud dimensional que no es posible alcanzar con moldes de arena en verde, y, cuando además se requiere una alta producción.

Con el moldeo en cáscara se obtiene un buen acabado superficial; el uso de ligantes resinosos reduce la cantidad de arena utilizada; además la mayor rigidez del molde en cáscara permite una mayor libertad en el diseño del molde.

3.2.3 Moldes de yeso

Existen dos tipos de moldes en yeso, uno de ellos es un molde rígido de baja permeabilidad fabricado a partir de bloques o plaquetas de yeso, y el otro tipo, de menor rigidez y de mayor permeabilidad, es fabricado de yeso batido; con ambos podemos obtener una alta productividad, exactitud dimensional y buen acabado superficial.

Las dimensiones finales están afectadas por la temperatura de colada y la temperatura de desmoldeo, debido a la baja resistencia al creep a temperaturas mayores a 80 °C; los moldes de yeso son rígidos con respecto a la aleación en su mayor parte del rango de enfriamiento.

3.2.4 Moldes permanentes

Los moldes de hierro son los más adecuados para esta aleación; también se pueden utilizar moldes de grafito, acero y otros.

Los moldes de hierro fundido usados para el aluminio se pueden usar para esta aleación, solo se tiene que incrementar el espesor de la pared del canal de alimentación debido a que esta aleación tiene un amplio rango de enfriamiento; los riseres utilizados deben ser ligeramente más grandes que los usados para el aluminio.

Para evitar que la pieza se pegue en el molde es necesario recubrir la superficie del molde con grafito o negro de carbón que se puede producir mediante la llama reductora de gas combustible sobre la superficie del molde.

El recubrimiento de grafito debido a su alta conductividad produce una alta velocidad de enfriamiento mejorando el acabado superficial, esto es recomendable para piezas pesadas para reducir defectos o desplazarlos a zonas permisibles.

Los moldes deben ser precalentados a 200 - 260 °C y la temperatura de colada debe ser de 475 a 520 °C.

3.2.5 Moldes de grafito

Los costos se pueden reducir en comparación a los moldes permanentes usando moldes de grafito; éstos moldes

se pueden fabricar a partir de bloques; su costo de fabricación es de $1/4$ a $1/3$ del costo de los moldes de acero; la conformación o maquinado se puede hacer a mano.

Los moldes de grafito permiten obtener una mayor productividad debido a su mayor disipación de calor, las piezas fundidas tienen un buen acabado superficial y exactitud dimensional, además se pueden usar las almas comunes en caso de requerir orificios.

3.2.6 Inyección

Con esta aleación se puede fabricar en inyectoras de cámara fría, mientras que las aleaciones comunes (Zamak) se fabrican en máquinas inyectoras de cámara caliente.

4.- SISTEMA DE ALIMENTACION Y ALIMENTADORES

4.1.- Generalidades

En las aleaciones Zn-Al, es común obtener un rechupe invertido generalmente en las aleaciones con alto porcentaje de aluminio, tales como Zn-27 %Al, donde se tiene una amplia zona pastosa (aproximadamente 190 °C).

El mecanismo de formación de este rechupe se debe a la segregación de Zn; es decir el sólido que se forma al principio tiene aproximadamente 60 % Al debido a su baja densidad, estas dendritas tienden a flotar en

superficie, conforme se incrementa el espesor de la fase sólida dendrítica el gradiente térmico disminuye, ocasionando una mayor segregación del zinc, esto por su alta densidad se sedimenta en el fondo de la pieza, ocasionando el rechupe invertido, ver fig. 1; esto ha sido verificado por M. Sahoo y R. Smith.

Este defecto se puede eliminar mediante :

- 1.- Adición de 0.02-0.6 % de elementos del grupo IA (Li, K, Na, Cs) y/o IIA (Be, Ca, Sr, Ba), estos elementos no afectan las propiedades mecánicas.
2. Mediante agitación electromagnética
- 3.- Aplicación de gradientes de temperatura de 25 C/cm
- 4.- Mediante el uso de almas cerámicas porosas, en las zonas donde ocurre este rechupe.

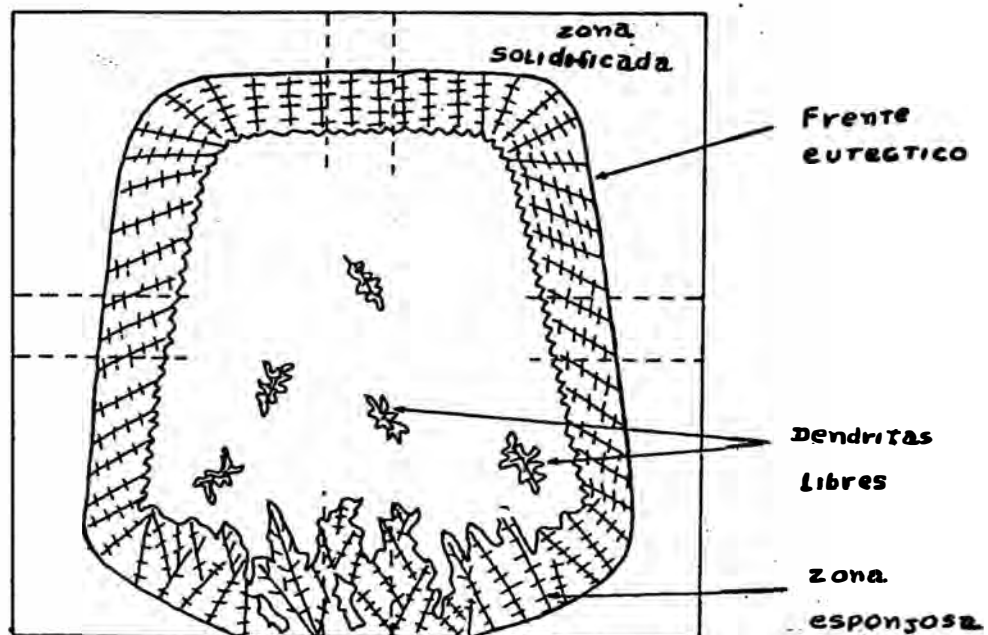


Fig. 1

4.2.- Posición de la pieza en el molde

La pieza puede ser ubicada en la posiciones como se indican a continuación. Fig 2, 3 y 4.

El tiempo de llenado para cada modelo se calcula mediante las siguientes relaciones

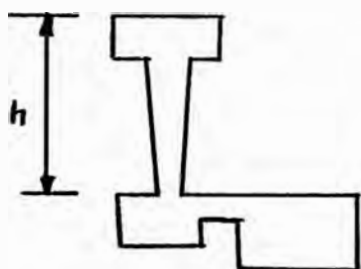


Fig. 2

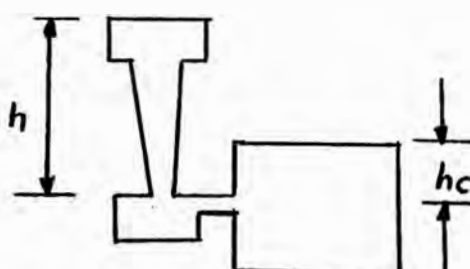


Fig. 3

$$t = \frac{w}{Ac \cdot 27.8 \sqrt{h} \cdot d}$$

$$t = \frac{w/2}{Ac \cdot 27.8 \sqrt{h} \cdot d} + \frac{2A_m(\sqrt{h} - \sqrt{h-h_c})}{Ac \cdot 27.8}$$

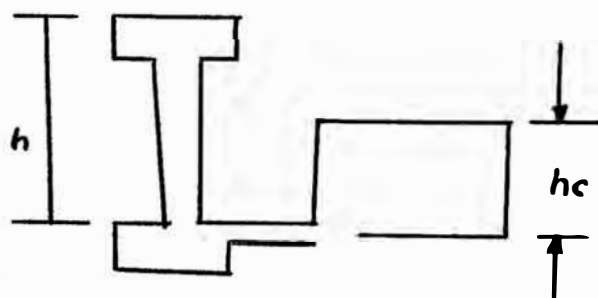


Fig. 4

$$t = \frac{2A_m(\sqrt{h} - \sqrt{h-h_c})}{Ac \cdot 27.8}$$

A : Area de choque (pulg²)
h : Altura del bebedero más la tasa (pulg)
W : Peso de la pieza
Am : Area superficial de la pieza que esta encima de la línea de partición (pulg²)
d : Densidad (lb/pulg³)
c : Factor
t : Tiempo de llenado

4.3.- Distancia de alimentación

Se pueden usar las relaciones usadas para el acero, la cual depende del espesor de la pieza y presencia o ausencia de enfriadores.

Para el caso de las aleaciones de Zn, la distancia de alimentación es mayor que la usada en los aceros; trabajos experimentales realizados por R. BARNHURST indican que para secciones de 2.5 - 4 cm. la distancia de alimentación es de 30-35 cm usando enfriadores y de 20-25 cm sin enfriadores.

4.4.- Relación de áreas

Debido a que las aleaciones de Zn no se oxidan facilmente, comparadas a las aleaciones de Al y de Cu, no es necesario hacer la alimentación por el fondo.

El metal debe ingresar con la mínima turbulencia y que fluya sin ocasionar erosión del molde, de preferencia se debe tener una solidificación direccional.

Es común usar las relaciones 1:3:3 y/o 1:2:2

4.4.1.- Bebedero

El bebedero debe ser ahusado y no recto, para que el metal ingrese sin turbulencia, el peso y/o base del bebedero debe ser de sección rectangular para minimizar la absorción de gases.

4.4.2.- Canal de repartición

Generalmente es mayor que para las aleaciones de Al y Cu, se recomienda secciones cuadradas y/o trapezoidales.

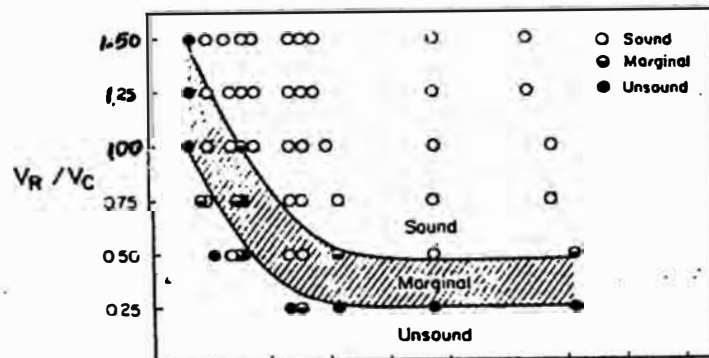
4.4.3.- Canal de ataque

Se recomienda usar ataques múltiples, y grandes semejante a las usadas para el aluminio.

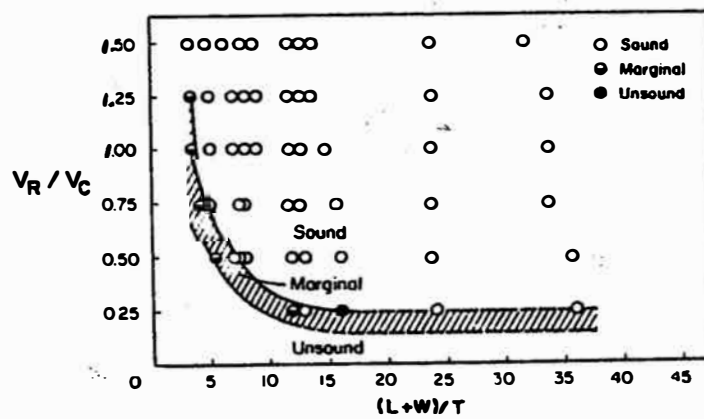
4.5.- Diseño de risers

Los risers pueden ser abiertos y/o ciegos, la relación altura/diámetro es mayor o igual a 0.5 si se trata de barras y 1 si son placas.

Se obtienen buenos resultados si se trabaja con un módulo de 1.3 veces el módulo de la pieza, en el gráfico 1, se dan dos curvas para calcular el volumen del riser en función del factor de forma (S) para la aleación Zn-27 %Al.



(a)



(b)

Grafico 1

(a) sin enfriadores (b) con enfriadores

$$S = (W + L) / T$$

W : Ancho de la pieza

L : Longitud

T : espesor

5.- PRUEBA EXPERIMENTAL

5.1 Introducción

Se fabricaron lingotes (barras) a partir de materiales de alta pureza usando moldes de arena (80 AFS) con una humedad del 4 % no se hizo ningún tipo de revestimiento superficial al molde; la alimentación se hizo por el fondo, ver Fig 5.

Para fabricar la aleación se tuvo que fabricar primero una pre-liga de aluminio y cobre (94 % Al y 6 % Cu) para bajar el punto de fusión del cobre; luego la fusión se hizo en un horno de crisol de 40 Kg de capacidad marca "MORGAN" usando un crisol nuevo de carburo de silicio.

El control de temperatura se hizo con un pirómetro digital de inmersión de 25 - 1200 °C.

5.2 Práctica de fusión

Calentar el crisol hasta 600 °C aprox.

Adicionar la liga, el aluminio y un 60 % de zinc hasta

fusión.

Apagar el horno y adicionar el zinc restante.

Una vez fundido, agitar vigorosamente y, alcanzada la temperatura de 530 °C, adicionar el Sincrex (0.03 %) en peso.

Colar a 520 °C en el menor tiempo posible (en este caso fue de 10 seg).

5.3 Resultados.

5.3.1 Análisis químico.

El análisis químico se hizo por absorción atómica de un promedio de tres lingotes.

A continuación se indica el promedio de los resultados obtenidos.

<u>Elemento</u>	<u>Carga</u>	<u>Lingote</u>
	(%)	(%)
Al	11.5	11.41
Cu	0.85	0.843
Mg	0.03	0.028

5.3.2 Inspección visual.

En las Figs. 6 y 7 se muestran los lingotes de la aleación; como se puede apreciar los lingotes no tienen buen acabado superficial debido a que la arena es gruesa, la alta fluidez hace que el caldo fugue por las líneas de partición.

5.3.3 Pruebas mecánicas y metalografía

Los resultados de estos ensayos se muestran en el Capítulo IV .

6.- PROPIEDADES DE FUNDICION.

6.1 Fluidez.

La aleación Zn-12Al tiene una alta fluidez, esto facilita la producción de piezas de sección delgada (hasta 1.2 mm) en moldes de arena sin dificultad; usando arenas especiales se pueden llegar a obtener secciones aún más delgadas.

6.2 Contracción.

La tolerancia permitida para la contracción es de 0.15 pulg/pie (12.5 mm/m) usando moldes de arena, yeso y moldes permanentes.

Para obtener una buena reproducción de las dimensiones de la pieza se deben controlar cuidadosamente la temperatura de colada y la temperatura de desmoldeo.

7.- MAQUINADO.

Esta aleación no presenta problemas en el maquinado; por su excelente colabilidad el maquinado solamente se requiere en situaciones tales como:

Tolerancias muy exigentes;
terraja de roscas, conos, etc.;
eliminar imperfecciones de fundición; o,
hacer agujeros que no se pueden hacer con
almas.

Los costos de acabado son bajos debido al buen acabado del producto de colada.

Las características de maquinado de ésta aleación son semejantes a las del latón y el aluminio.

Para realizar los trabajos de maquinado es suficiente utilizar herramientas de acero ordinario de alto carbono.

7.1 Taladrado.

En la práctica de taladrado, usando un taladro estándar, para evitar soldamientos, se recomienda usar un ángulo de ataque de 150° y un ángulo de hélice de 38° . Una mecha de taladro de AISI M2 con estas especificaciones puede ser introducida hasta una profundidad siete veces el diámetro de la mecha sin que se produzcan soldamientos.

7.2 Torneado.

En el torneado son importantes los ángulos de espacio muerto y compensación grande ($10 - 15^\circ$), de lo contrario se corre el peligro de obtener ángulos agudos irregulares.

Es recomendable usar una alta velocidad (0.006 - 0.008 pulg/rev, o más) y buena lubricación; para pases de acabado la velocidad debe disminuirse.

7.3 Fresado.

El primer trabajo de fresado debe ser la eliminación de las rebabas de los orificios maquinados y el hundimiento o punzonamiento de las cabezas de los tornillos.

Las fresas deben tener bordes de corte grande, con amplio espacio para las virutas.

La velocidad óptima de corte para el fresado se determina por tanteos; superficies irregulares pueden causar problemas en la herramienta de corte y con ello una interrupción del corte; para ello la herramienta debe ser presionada firmemente contra la superficie de la pieza de tal manera que asegure un fresado satisfactorio.

8.- SOLDABILIDAD.

La aleación Zn-12Al puede ser soldada mediante soldadura TIG (soldadura por fusión), si los bordes de las piezas estan diseñadas con un pequeño bisel; los biseles deben ser fundidos juntos, sin añadir material de relleno.

En diseños donde es necesario añadir metal de relleno la soldadura deberá ser de la misma composición del material base.

Se ha demostrado que esta aleación puede ser unida a sí misma por soldamiento (sin material de relleno) obteniendose juntas con buena resistencia mecánica, pero se deterioraron rápidamente por corrosión en presencia de humedad o ambiente salino.

No se recomiendan soldaduras convencionales blandas de plomo y estaño, debido al alto porcentaje de aluminio que contiene la aleación; sin embargo, soldaduras especiales para aleaciones de aluminio pueden usarse para esta aleación.

También se recomienda usar soldaduras a base de cadmio y zinc.

9.- RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES.

9.1 Cromado.

Para el cromado de la aleación Zn-12Al se siguen los mismos procedimientos establecidos para las fundiciones comunes de Zinc (ZAMAK); se debe tener cuidado en la limpieza, el alto contenido de Zinc puede causar problemas.

La eficiencia del cromado ó niquelado es influenciada por la calidad superficial de la pieza.

Para obtener una buena resistencia al medio ambiente se pueden aplicar los siguientes sistemas, para piezas fundidas en coquilla.

- 1.- 23 micrones de níquel duplex con 0.25 micrones de cromo microporoso.
- 2.- 16 micrones de níquel duplex con 0.75 micrones de cromo convencional.
- 3.- 30 micrones de níquel duplex con 0.25 micrones de cromo convencional.

9.2 Anodizado

El proceso de anodizado de las aleaciones de zinc es diferente a los procesos de anodizado del aluminio. Este proceso de anodizado de aleaciones de zinc le confiere una mejora en la resistencia a la corrosión, abrasión e impacto.

Durante el anodizado se forma un compuesto complejo grumoso de partículas fundidas por la descarga anódica; este compuesto es duro, poroso, absorbente y tiene excelentes propiedades de coloración diversa.

El anodizado de la aleación Zn-12Al proporciona un beneficio económico por la obtención de la máxima resistencia a la corrosión para productos tales como: grifería, componentes de bombas, piezas para uso marino, etc.

Los acabados se pueden obtener en colores variados tales como: marrón, gris, verde y gris oscuro; el acabado superficial poroso es ideal para aplicar otros recubrimientos adicionales tales como pinturas.

No se recomienda este proceso de recubrimiento para piezas en contacto con materiales alimenticios debido a que el recubrimiento anodizado contiene iones cromato.

Información adicional sobre recubrimientos de esta aleación pueden ser solicitados a la International Lead Zinc Research Organization (ILZRO), o a las asociaciones de desarrollo del mercado de la industria del zinc.

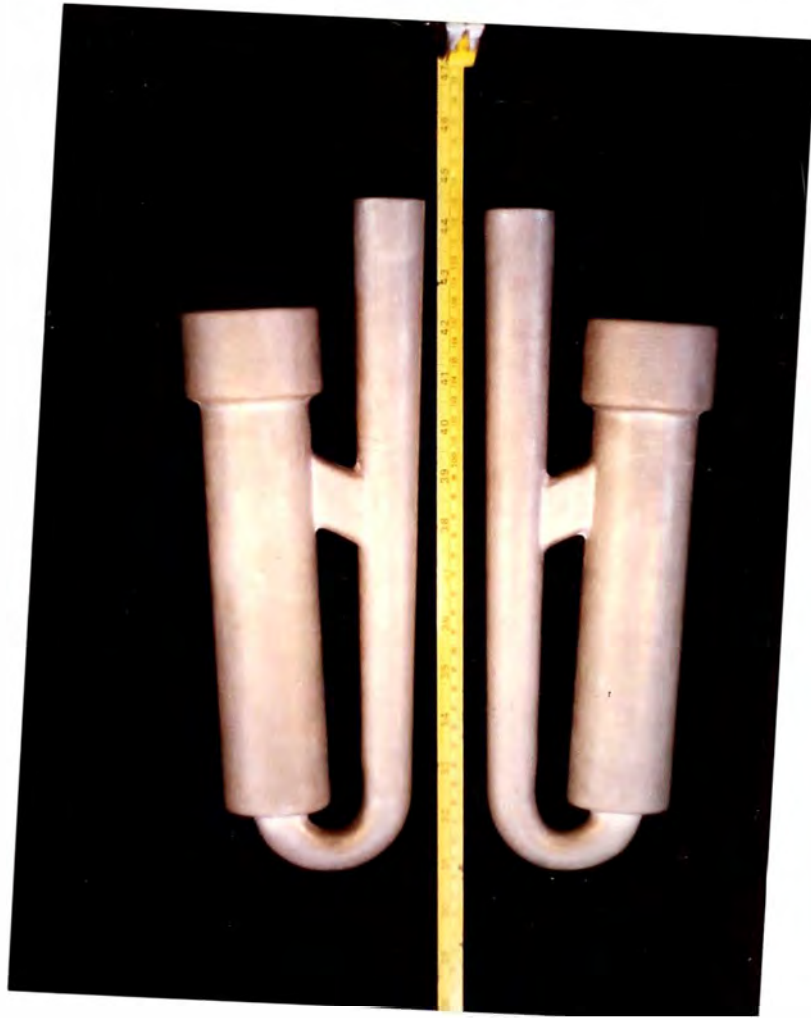


Fig. 5



Fig. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
Cochabamba, Bolivia
UNIDAD DE PROYECTOS



Fig. 7

C A P I T U L O I V

P R O P I E D A D E S D E
I N G E N I E R I A

C A P I T U L O I V

PROPIEDADES DE INGENIERIA.

1.- PROPIEDADES MECANICAS.

1.1 Preparación de probetas.

Las probetas para los ensayos mecánicos (de tracción y de impacto) se confeccionaron de acuerdo a las Normas Nacionales ITINTEC: 341.002 sección 6 y 341.007 sección 6.

1.2 Técnicas de ensayo.

El ensayo de tracción se hizo en un tensómetro de laboratorio marca "HOUNSFIELD" de 2 Ton de capacidad máxima.

El ensayo de impacto se hizo en una máquina "CHARPY" de laboratorio usando probetas de sección circular con entalle en forma de "V".

La prueba de dureza se hizo usando un durómetro Brinell HPO-250 aplicando una carga de 62.5 Kg con una bola de 2.4 mm durante 30 sg.

1.3 Ensayos de tracción.

Pruebas realizadas en el laboratorio en probetas en estado fundido a temperatura ambiente dieron una

resistencia a la tracción de 32.5 Kg/mm² y 2.1 % de elongación.

A 80 °C la resistencia a la tracción es de 25 Kg/mm² y 2.8 % de elongación.

En las Figuras 1 y 2 se muestra la variación de la elongación y la resistencia a la tracción con la temperatura para la aleación Zn-12Al fundida en arena; como se puede observar existe un incremento fuerte en la elongación a partir de los 70 °C. Análogamente se incrementa la resistencia a la tracción.

1.4 Resistencia al impacto.

La resistencia al impacto en estado fundido es de 1.8 lb-pie medida con máquina Charpy tipo B a temperatura ambiente; la temperatura, el tipo de ensayo y el proceso de fabricación hacen variar la resistencia al impacto. Se puede ver en las Figuras 3 y 4 la variación de la resistencia al impacto con la temperatura para la aleación fundida en arena y en coquilla.

1.5 Dureza

La dureza del producto fundido está entre 105 - 125 HB medido a temperatura ambiente. Esta dureza depende del proceso de fabricación. En la Figura 5 se indica la variación de la dureza con la temperatura.

Finalmente en los Cuadros 1, 2, 3 y 4 se hace un resumen de las propiedades de la aleación Zn-12Al y de otras aleaciones.

C U A D R O 1

Propiedades Mecánicas de la Aleación Zn-12Al

PROPIEDAD	T I P O D E F U N D I C I O N		
	ARENA	MOLDE PERMANENTE	INYECCION
RESIS. TRACCION (Kg/mm ²)	28-32	35-39	40-42
LIMITE ELASTICO (Kg/mm ²)	21	22	32-34
ELONGACION (%)	1-3	1-3	4-7
RESIST. CORTE (Kg/mm ²)	25-27	-	-
DUREZA (HB)	100-125	105-125	95-125
IMPACTO (1) (lb-pie)	12	6	-
IMPACTO (2) (lb-pie)	2.8	2.8	-

(1) Barra 1/4" X 1/4" sin entalle

(2) Charpy tipo B

Fuente de información:

Journal of Metals, Nov. 1985

C U A D R O 2

Propiedades de las aleaciones de Zinc.

PROPIEDAD	Z A M A K			Zn-8Al	Zn-12Al	Zn-27Al
	3	5	7	Coquilla	Arena	Arena
RESIS. TRACCION (Kg/mm ²)	29	39	29	25	30	44
ELONGACION (%)	10	7	13	1-2	1-3	3-6
DUREZA (HB)	82	91	80	90	110	120
IMPACTO (1) (lb-pie)	43	48	43	-	12	11

(1) Barra 1/4" x 1/4" sin entalle

Fuente de información:

Engineering properties of zinc alloys, ILZRO 1980.

CUADRO 3

Propiedades de la Aleación Zn-12Al y Otras Aleaciones
Ferrosas y No Ferrosas

ALEACION	PROCESO FUNDIC.	TRACCION Kg/mm ²	FLUENCIA Kg/mm ²	ELONG. %	IMPACTO lb-pie	DUREZA HB
Zn-12Al	Arena	30	21	2	12	110
Aluminio :						
356-T6	Coquilla	27	19	5	8	80
380	Inyección	33	16	3.5	3	83
319	Arena	33	13	2	4	70
Bronces :						
SAE 660	Arena	25	13	20	6	65
SAE 64	Arena	25	13	20	11	60
Latones :						
SAE 40	Arena	26	12	30	11	60
SAE 854	Arena	24	8	35	-	50
F. Fundido :						
ASTM C.20	Arena	15	-	-	-	156
ASTM C.30	Arena	24	-	-	-	201
ASTM C.40	Arena	30	-	-	-	235
ASTM A-47	Arena	35	23	10	40-65	110-156

Fuente de información:

Design application of gravity cast zinc ILZRO 12; 1972

C U A D R O 4

Propiedades Físicas de la Aleación Zn-12Al

DENSIDAD gr/cc a 20 °C	6.03
CONDUCTIVIDAD TERMICA W/m ² /°C (70-140 °C)	116
EXPANSION TERMICA mm/mm/°C x 10 ⁻⁶ (20-100 °C)	27.9
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (% IACS)	28.3
CONTRACCION (%)	1.25
RANGO DE SOLIDIFICACION (°C)	432-377

Fuente de referencia:

Journal of Metals, Nov. 1985

2.- METALOGRAFIA

2.1 Preparación de probetas.

Para hacer el análisis metalográfico (que comprende el análisis macrográfico y el análisis micrográfico) se prepararon probetas en el sentido longitudinal y transversal del lingote.

En el sentido longitudinal analizaremos el sentido de crecimiento de las dendritas, macro y microsegregaciones a lo largo del lingote, porosidades, óxidos, etc.

En el sentido transversal analizaremos la homogeneidad en el centro de la pieza, la intensidad de segregaciones, forma y dimensión de dendritas, rechupes, etc.

El corte de las probetas se puede hacer con ayuda de una sierra manual o con una cortadora de disco bien refrigerado.

Las probetas para el análisis macrográfico deben de ser del mayor tamaño posible, mientras que para el análisis micrográfico se toman probetas de menor tamaño; para este caso se debe hacer un briqueteado; este briqueteado debe hacerse con resina que fragua en frío para evitar cualquier cambio o alteración en su microestructura.

Para el desbaste se hace uso de lijas al agua de granulometría variable; para la macrografía se desbasta hasta la lija N° 120 o 180, mientras que para la micrografía se lo hace hasta la lija N° 600.

Después del desbaste, el pulido final se hace usando un paño tipo terciopelo o lana con un abrasivo en suspensión que puede ser alúmina, óxido de Mg, pasta de diamante, etc.; durante esta operación se deben realizar movimientos en la probeta para evitar que se formen "colas de cometa" o desprendimiento de algunas inclusiones blandas tales como el plomo, o inclusiones duras (óxidos).

Para el acabado final de la probeta el pulido se hace usando un paño limpio con ayuda de una pasta jabonosa para eliminar por completo los defectos de pulido.

2.2 Reactivos de ataque.

2.2.1 Macrografía.

Reactivo de ataque

Acido crómico	200 gr
Sulfato de sodio	7.5 gr
Agua destilada	1000 cc

Reactivo de lavado.

Acido crómico	200 gr
Agua destilada	1000 cc

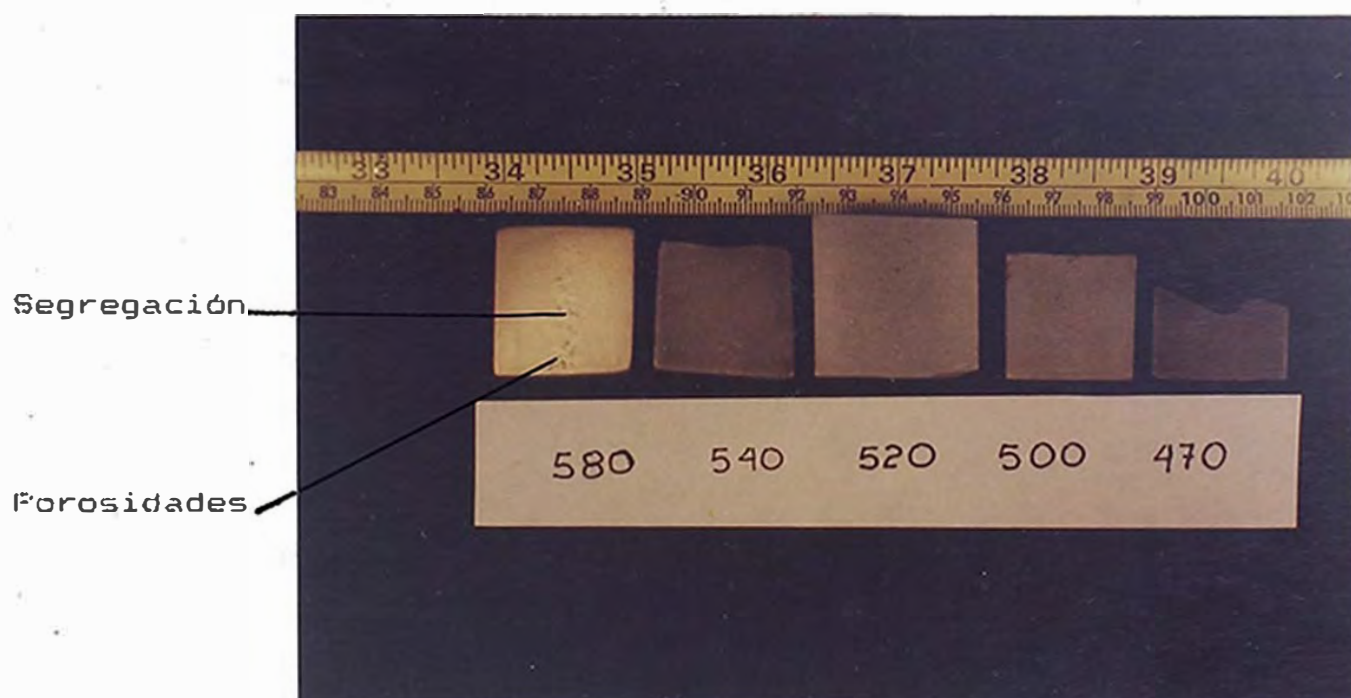
2.2.2 Micrografía.

Reactivo de ataque

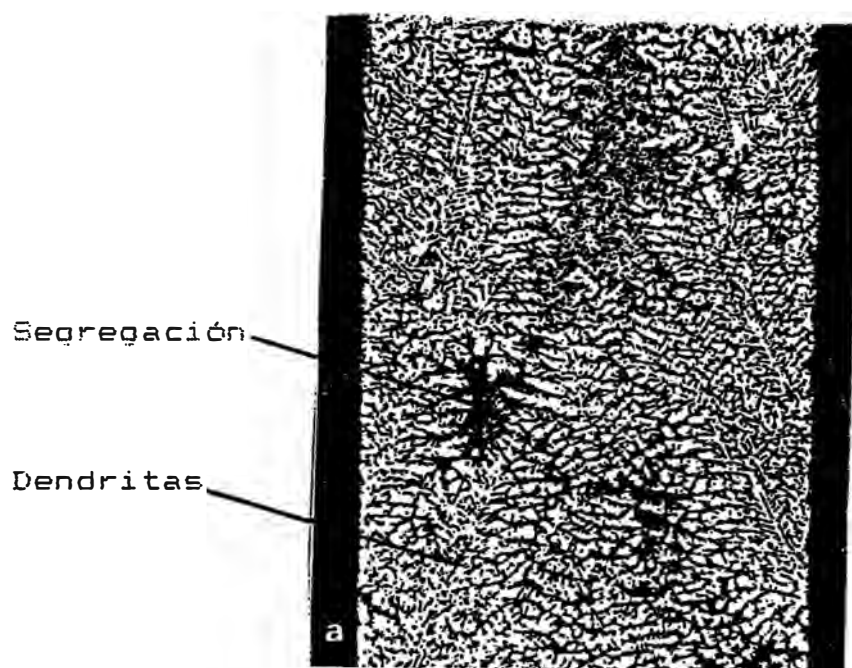
Acido crómico	50 gr
Sulfato de sodio	4 gr
Agua destilada	100 cc

2.3 Observación macrográfica.

El análisis macrográfico de la aleación Zn-12Al revela una estructura con crecimiento dendrítico; además se observa la presencia de porosidades y segregaciones localizadas principalmente en el centro del lingote. (Ver Figs. 1 y 2).



Fotomicrografía 1 . Macroestructura de los lingotes a diferentes temperaturas de colada.



Fotomicrografía 2 Macroestructura de una muestra de la aleación Zn-12Al (10.5X)

2.4 Observación micrográfica.

La microestructura de la aleación Zn-12Al se caracteriza principalmente por la presencia de dendritas primarias de solución sólida rica en aluminio con un eutéctico interdendrítico rico en zinc, que tiene un crecimiento en forma de colonias.

La composición de la fase α rica en aluminio tiende a ser más rica en zinc en sus regiones externas exhibiendo un borde continuo formado por un precipitado fino, producto de una transformación eutectoide parcial; esta variación en la composición se ha determinado mediante un microanalizador electrónico MEP.

La temperatura de colada no tiene una marcada influencia en la microestructura; la morfología y crecimiento de las dendritas tienden a ser semejantes.

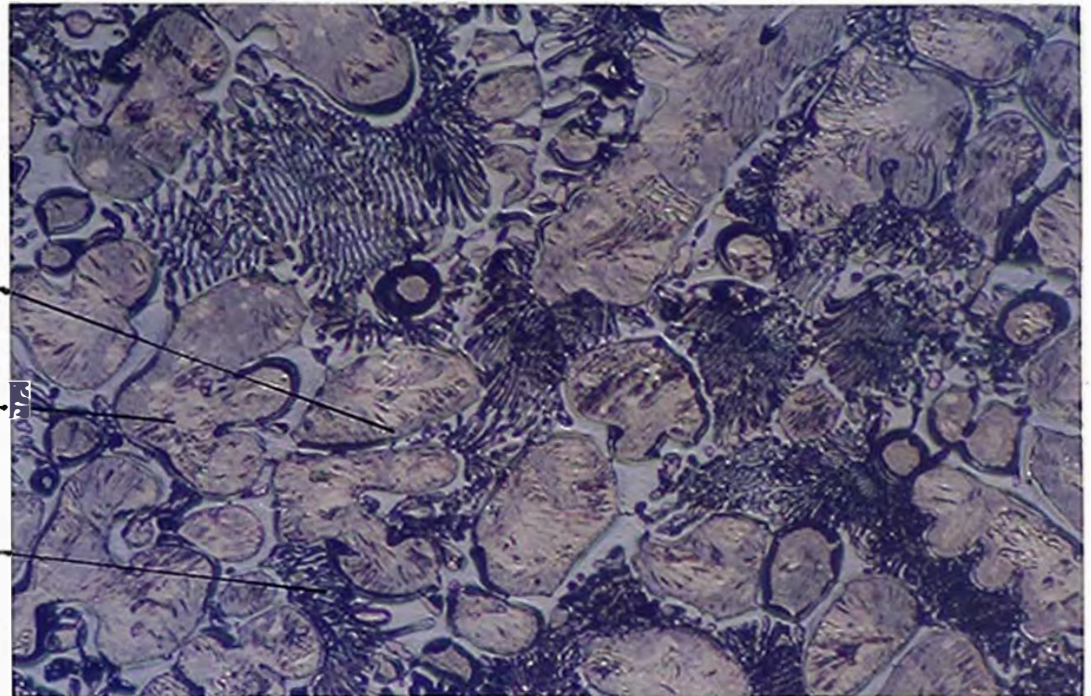
La velocidad de enfriamiento sí influye en la microestructura; esto se ha comprobado usando moldes de grafito y moldes de arena. Para el primer caso las dendritas son más pequeñas con un crecimiento no direccional y poca segregación, mientras que en el segundo caso las dendritas son más gruesas y existe la presencia de un precipitado producto de una transformación eutectoide; el eutéctico tiene un crecimiento en forma de colonias.

En las fotomicroestructuras que se muestran a continuación se corrobora lo explicado anteriormente.

Precipitado
fino

Fase α

Eutético

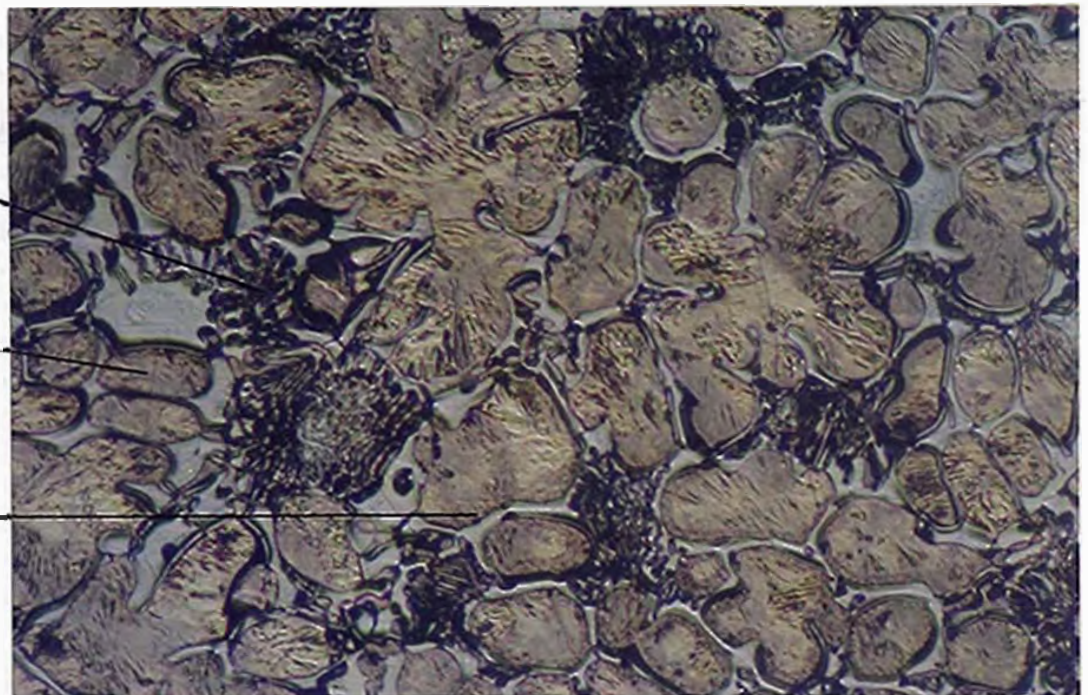


Fotomicrografía 1. Fundido en arena, sección transversal, zona central del lingote, temperatura de colada 520 °C ; (150X).

Eutético

Fase α

Precipitado
fino

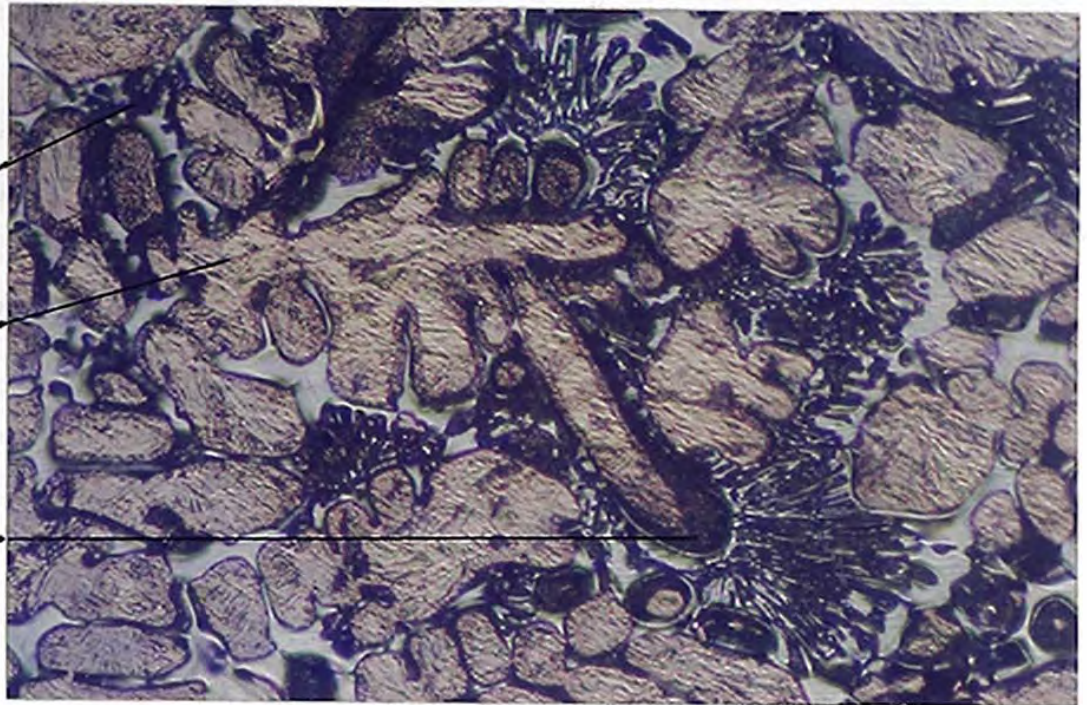


Fotomicrografía 2. Fundido en arena, sección transversal, zona central del lingote, temperatura de colada 530 °C ; (150X).

Eutéctico

Fase α

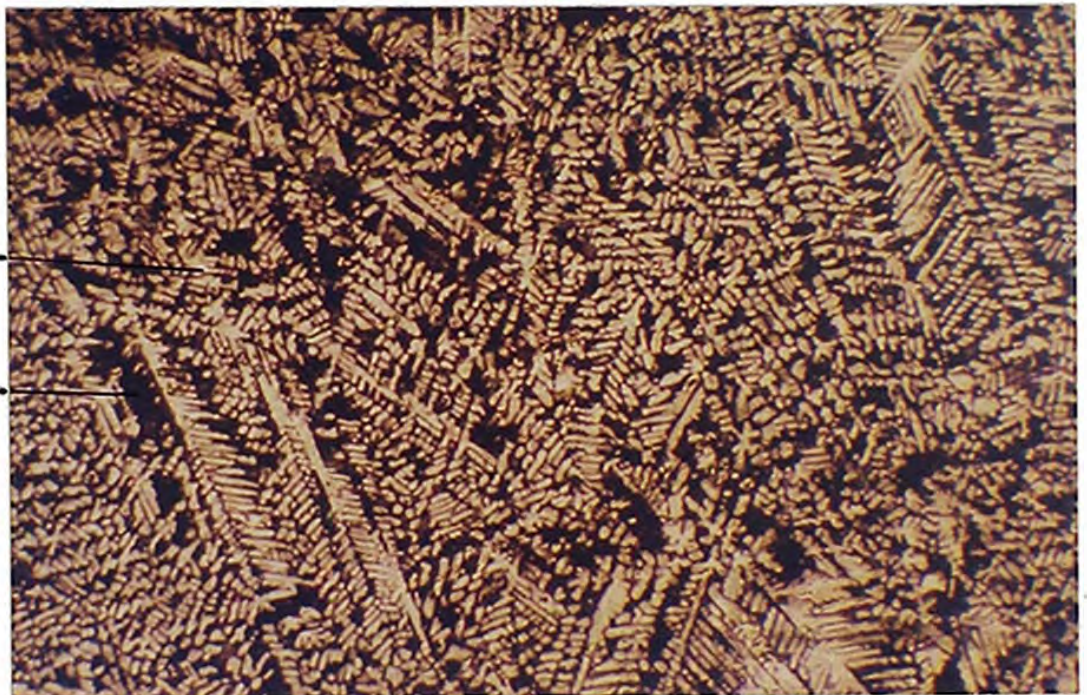
Precipitado
fino



Fotomicrografía 3. Fundido en arena, sección transversal, zona periférica del lingote, temperatura de colada 520 °C ; (150X).

Fase α

Eutéctico



Fotomicrografía 4. Fundido en molde de grafito, sección longitudinal, zona periférica del lingote, temperatura de colada 580 °C ; (90X).

Fase α



Fotomicrografía 5. Fundido en molde de grafito, sección longitudinal, zona periférica del lingote, temperatura de colada 520 °C ; (90X).



Fotomicrografía 6. Fundido en molde de grafito, sección longitudinal, zona central del lingote, temperatura de colada 580 °C ; (90X).

2.5 Influencia de los elementos aleantes en la microestructura

2.5.1 Aluminio.

El aluminio actúa como afinador de grano del zinc, tiene poca solubilidad con el zinc, la máxima solubilidad es del 1.0 % Al a la temperatura eutéctica (382 °C), y de 0.1 % Al a temperatura ambiente.

El aluminio forma un eutéctico con 5 % Al de forma lamelar y una fase denominada β rica en zinc; a 275 °C la fase β se transforma eutectoidalmente en dos fases α y η

El aluminio, en presencia del fierro y cobre forma compuestos complejos. >

2.5.2 Cobre.

El cobre tiene baja solubilidad en el zinc, su máxima solubilidad a 424 °C es de 0.7 %. A temperatura ambiente la solubilidad tiende a cero.

El cobre forma compuestos intermetálicos con el zinc los cuales son inestables a temperatura ambiente.

2.5.3 Magnesio.

La solubilidad del magnesio tiende a cero en el zinc a cualquier temperatura; pero sí forma compuestos intermetálicos con altos porcentajes de magnesio, tales como $MgZn_2$, los cuales se depositan en los bordes de grano.

2.5.4 Hierro.

Cuando los porcentajes de hierro varían de 0.05 a 0.1 % aparecen fases duras faceteadas identificadas como $FeAl_3$ y Fe_2Al_5 que se depositan en los bordes de grano.

2.5.5 Estroncio.

El estroncio forma una fase $Zn_{10}SrAl$, que tiene una morfología faceteada que se distribuye mayormente en las colonias del eutéctico (en zonas ricas en zinc); el estroncio no afina el grano ni tiende a modificar la microestructura.

La fase rica en estroncio no se ha observado en la fase rica en aluminio; con altos porcentajes de cobre forma una fase cuaternaria rica en zinc (82.5 % Zn, 10.5 % Sr, 4 % Al y 3 % Cu) que aparece mayormente en zonas ricas en zinc y son las últimas en solidificar.

2.5.6 Boro.

El boro forma granos en forma de agujas muy finas que sólo son detectables con microscopía electrónica.

2.5.7 Plomo.

El plomo tiene baja solubilidad con el zinc; forma un monotéctico a 417 °C con 0.9 % Pb.

El plomo se presenta en forma de glóbulos oscuros en los bordes de grano; debido a su baja dureza, en el pulido se desprenden dejando huecos que tienen la apariencia de pitting.

2.5.8 Estaño.

El estaño tiene baja solubilidad en el zinc, forma un eutéctico con 0.001 % Sn y aparece en los bordes de grano.

2.5.9 Cadmio.

La solubilidad del cadmio en el zinc es limitada; el cadmio no afecta la microestructura pero sí tiende a segregarse.

2.5.10 Titanio.

La solubilidad del titanio con el zinc es limitada, aproximadamente con 0.12 % Ti forma un eutéctico compuesto de Zn y $TiZn_{15}$. El $TiZn_{15}$ es el que afina el grano.

También se creía antiguamente que en presencia de aluminio el titanio formaba $TiAl_3$ con porcentajes mayores a 0.05 % Ti y era este el que afinaba el grano; recientemente se ha comprobado que existe un completo afinamiento del grano cuando aparecen partículas de Al_5Ti_2Zn ancladas en la fase β y con porcentajes de 0.04 - 0.05 % Ti.

GRAFICO 1

% ELONGACION VS. TEMPERATURA

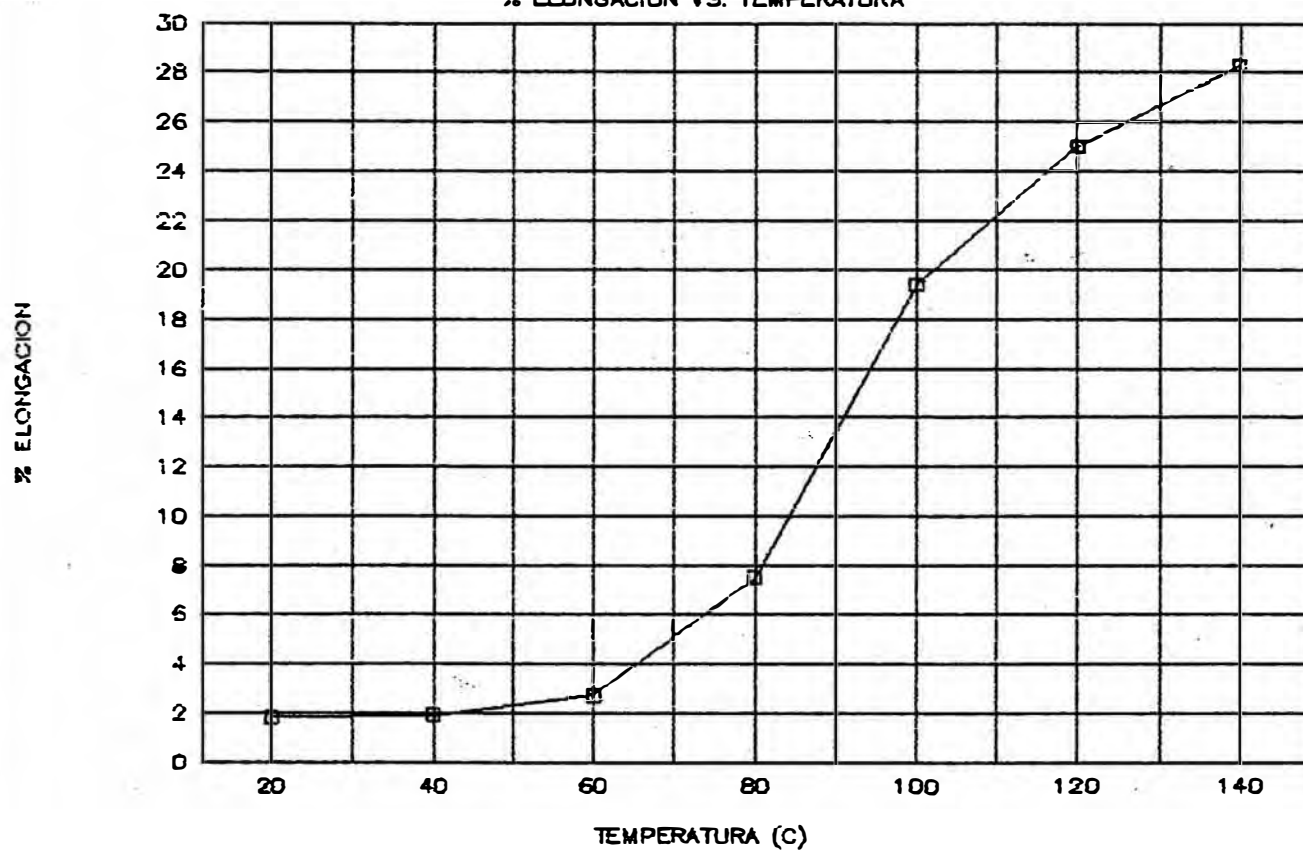


GRAFICO 2

RESIST. A LA TRACCION VS. TEMPERATURA

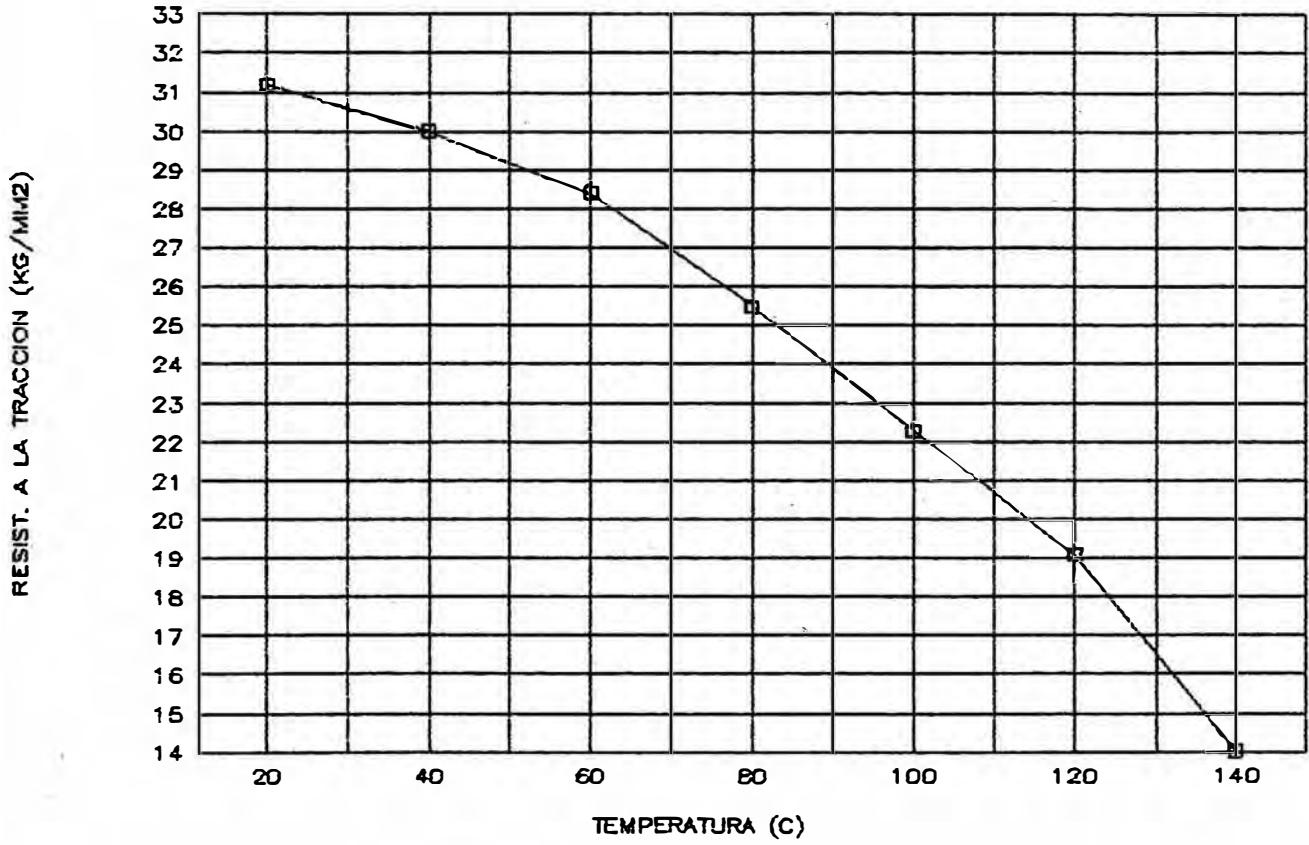


GRAFICO 3

RESIST. AL IMPACTO (ARENA) VS. TEMPER.

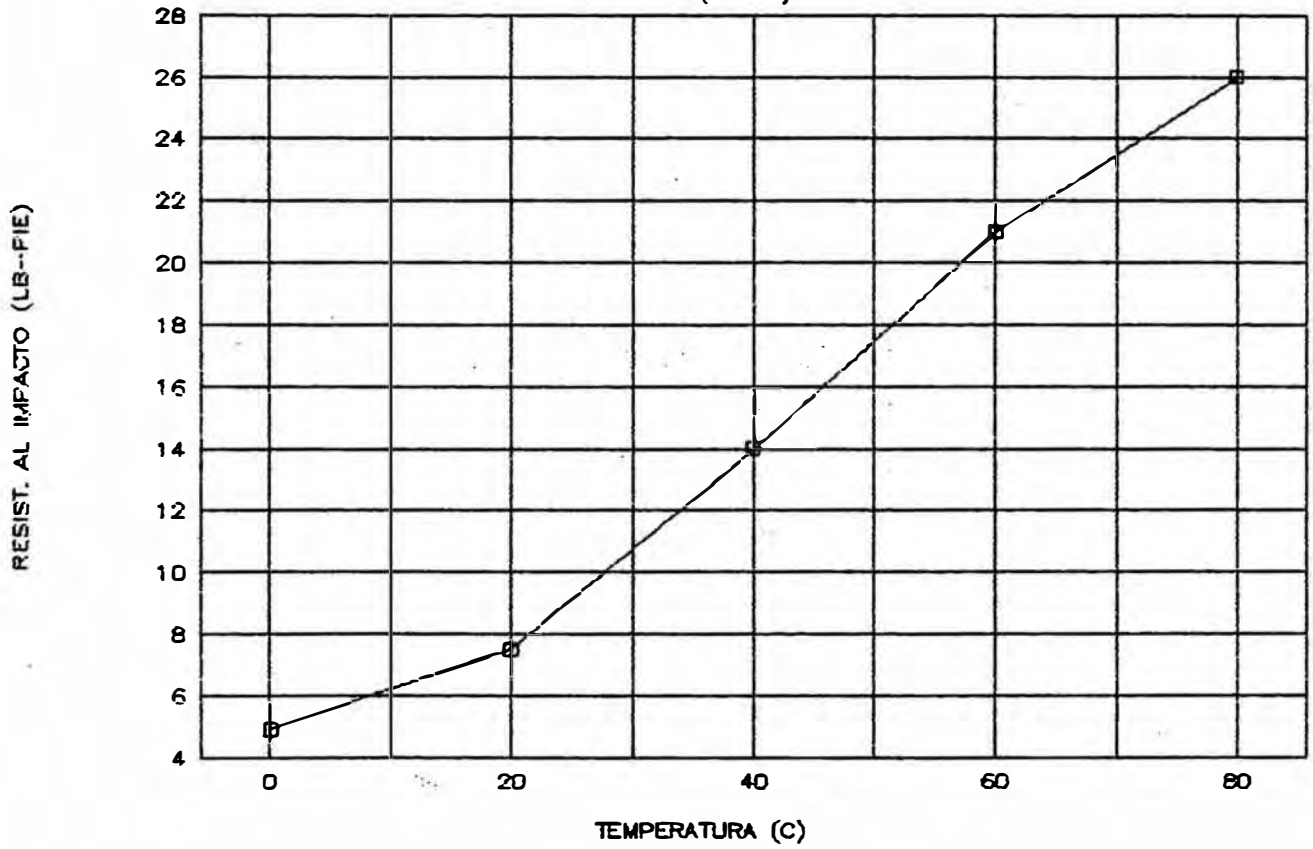
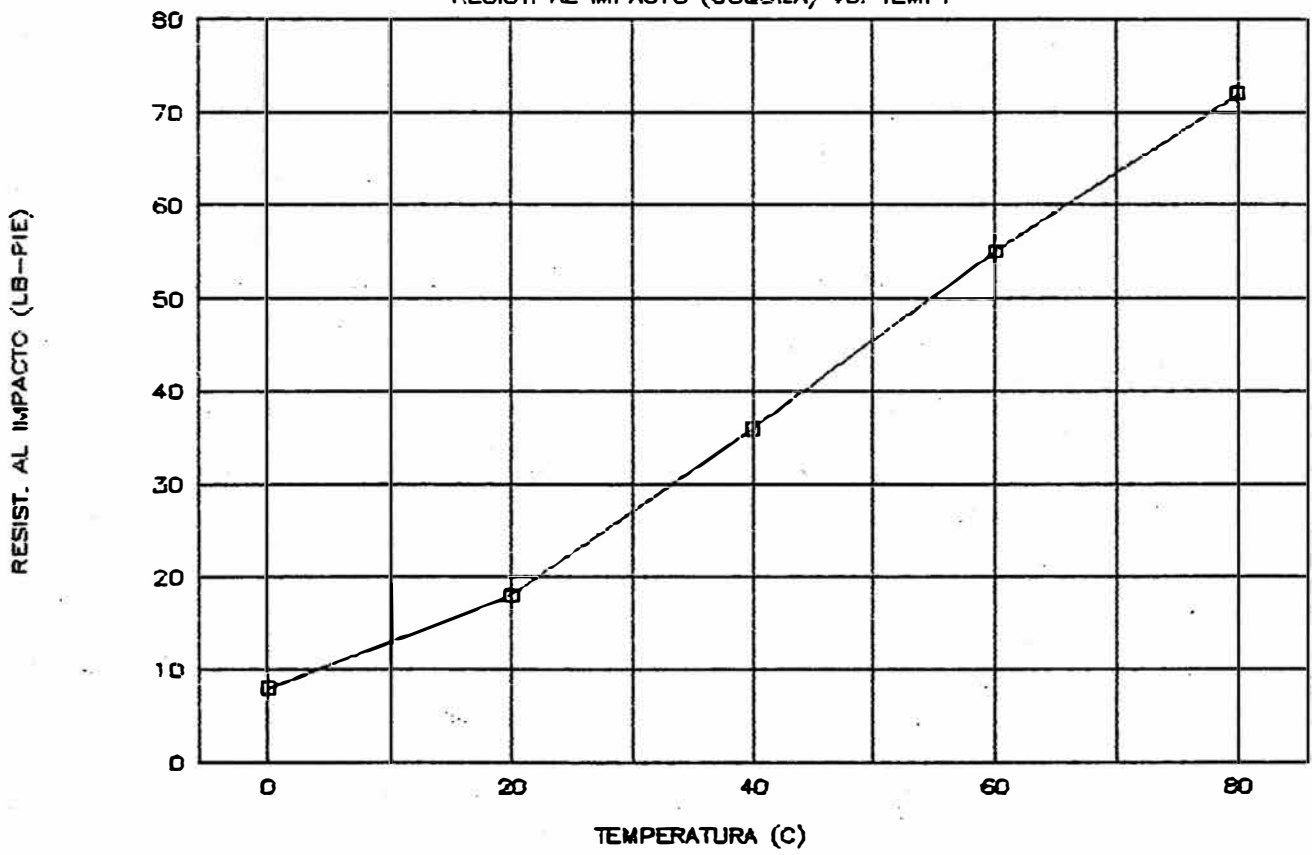


GRAFICO 4

RESIST. AL IMPACTO (COQUILA) VS. TEMP.



C A P I T U L O V

T R A N S F O R M A C I O N

D E F A S E S

C A P I T U L O V

TRANSFORMACION DE FASES.

1.- ENVEJECIMIENTO.

1.1 Generalidades.

El proceso de envejecimiento (por precipitación) es un proceso que se realiza por nucleación y crecimiento; es decir, primero se forman los núcleos (nucleación), luego éstos crecen como resultado de la difusión (crecimiento).

Generalmente esta precipitación no comienza de inmediato, requiere de un tiempo determinado, llamado tiempo de incubación.

Para la mayoría de los casos el envejecimiento a temperatura ambiente es lento, requiere de un largo tiempo; normalmente para estimar el efecto del envejecimiento el material es envejecido artificialmente a temperaturas mayores a la ambiente.

Las aleaciones de zinc son susceptibles al envejecimiento debido a que todas las fases presentes no están en equilibrio en el estado bruto de colada. Las fases del producto de colada son α , β , ϵ y una pequeña cantidad de la fase β , no transformada debido a la presencia de cobre y magnesio.

Las reacciones de equilibrio están asociadas a transformaciones de corto y largo alcance.

1.2 Transformaciones.

1.2.1 Transformaciones de corto alcance.

Las transformaciones de corto alcance son transformaciones que demoran poco tiempo para llegar al equilibrio (horas, días). Estas reacciones están asociadas generalmente a fases inestables con alto porcentaje de aluminio.

1.2.2 Transformaciones de largo alcance.

Las transformaciones de largo alcance son transformaciones que demoran largo tiempo (meses, años) para llegar al equilibrio.

Las reacciones de largo alcance están asociadas básicamente a fases con alto porcentaje de cobre; esto se explica debido a la baja difusión del cobre.

1.3 Diagrama de fases.

1.3.1 Diagrama Zn - Al.

El diagrama de fases de acuerdo a PRESNYAKOV es mostrado en la Figura 1, aunque existe un desacuerdo por la reacción peritética.

En las aleaciones binarias Zn-Al, la fase eutectoide (β) se descompone en dos fases de equilibrio ($\alpha + \eta$); similarmente ocurre la precipitación de zinc en exceso (fase η) de la fase sobresaturada

α ($\alpha \rightarrow \alpha + \eta$).

Estas dos reacciones ocurren en el enfriamiento después de la colada o isotérmicamente después del tratamiento de solubilización seguido de un envejecimiento.

Las reacciones de descomposición se hacen más complejas cuando el aluminio sobrepasa el 22 %; aquí se presentan otras fases (α , α'), y todas cristalizan en el sistema FCC al igual que el aluminio.

1.3.3 Diagrama Zn - Al - Cu.

En las Figura 2 se indica una isoterma a 250 °C de este diagrama. Como se puede observar la solubilidad del cobre en el aluminio se incrementa con la adición de zinc; se ha determinado que a 460 °C con 0 % Zn la solubilidad del cobre es de 2.8 % , mientras que para un tenor de 8 % Zn la solubilidad del cobre se incrementa a 3.4 %.

Las solubilidades del cobre y el aluminio en el zinc disminuyen al descender la temperatura; a 377 °C es de 1.3 % Al y 2.8 % Cu mientras que a 275 °C es de 0.8 % Al y 1.7 % Cu.

1.4 Mecanismos de envejecimiento.

Durante el proceso de envejecimiento de las aleaciones de zinc se pueden presentar las siguientes reacciones en el estado sólido.

1.- Descomposición de la fase β ($\beta \rightarrow \alpha + \eta$)

2.- Descomposición de la fase ϵ ($\epsilon \rightarrow T'$)

3.- Reacción tetrafásica : $\alpha + \epsilon \rightarrow \eta + T'$

4.- Precipitación de zinc de la fase α ligeramente saturada.

5.- Precipitación de cobre de la fase η .

6.- Precipitación de aluminio de la fase β .

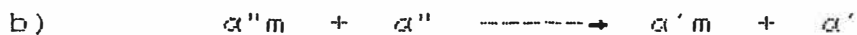
1.4.1 Descomposición de la fase β .

Estudios realizados por TERZIER, WEGRIA y GRADY para las aleaciones de Zn-12Al con microscopía electrónica mostraron que la descomposición de la fase β se realiza en tres etapas :

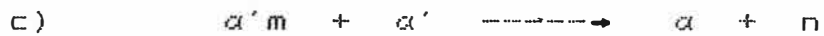


Donde $\alpha''m$ y α'' son fases FCC metaestables formadas por reacción celular o celular autocatalítica.

La segregación de zinc en el interior de estas colonias incrementa la diferencia en los parámetros cristalográficos ejerciendo efecto principalmente sobre el incremento de la resistencia local de la interfase entre los precipitados y la matriz, reduciendo así la coherencia entre las fases, e incrementándose la energía interfacial, la cual genera la segmentación de láminas dentro de los granos de orientación levemente diferente.



Donde $\alpha'm$ y α' son fases metaestables; $\alpha'm$ (70 % Zn - 30 % Al) cristaliza en el sistema hexagonal y α' (65 % Al - 35 % Zn) cristaliza en el sistema FCC



Donde α y n son fases estables; α cristaliza en el sistema FCC y n en el sistema hexagonal.

Estas reacciones de equilibrio ocurren a través de procesos de difusión; estos productos necesitan un largo tiempo de envejecimiento a temperatura ambiente; además, ésta descomposición produce una contracción en el material.

1.4.2 Descomposición de la fase ϵ .

La fase ϵ (CuZn_4) tiene una estructura hexagonal como el zinc, con sustitución al azar de átomos de zinc por cobre; esta fase es inestable a temperatura ambiente.

Estudios realizados por MYKURA, ZHU y MURPHY indican que la transformación de la fase ϵ se lleva a cabo mediante una transformación de largo alcance, por la cual gradualmente se transforma en la fase T' ($\epsilon \rightleftharpoons T'$), fase rica en cobre conteniendo aproximadamente 56 % Cu - 13 % Zn - 31 % Al ($\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$), y que cristaliza en el sistema romboédrico; esta reacción produce una dilatación en el material.

Si el porcentaje de cobre excede del 1 % hay un mayor porcentaje de la fase ϵ ; la transformación final produce una mayor dilatación.

1.4.3 Reacción tetrafásica de largo alcance.

Cuando el porcentaje de cobre es mayor del 2 % se presenta una reacción de clase II de largo alcance; según estudios realizados por MYKURA, ZHU y MURPHY.

Las fases T' y η se forman en la interfase α / ϵ ; después de la transformación final se obtiene α , η y T' .

Esta reacción está asociada con un incremento de volumen ; haciendo un balance de masa y aplicando la regla de la palanca se obtiene :

$$0.79 \epsilon + 0.21 \alpha = 0.65 \eta + 0.35 T'$$

el cambio de volumen es de $0.648 \text{ \AA}^3 / \text{atomo}$, correspondiendo a una expansión lineal media de 1.65 % .

1.4.4 Precipitación de zinc de la fase α .

Estudios realizados por MYKURA, ZHU y MURPHY en probetas coladas por gravedad y templadas desde el molde determinaron que durante el envejecimiento ocurre una precipitación de zinc de la fase α ligeramente saturada,

produciendo una ligera contracción en el material.

1.4.5 Precipitación del cobre de la fase β .

El cobre cristaliza en el sistema cúbico y el zinc en el sistema hexagonal; entonces la solubilidad es restringida. Además , los radios atómicos no son iguales (para el Cu, 2.55 \AA ; para el Zn, 2.66 \AA) ; al sustituir el cobre a los atomos de zinc crea una alteración en la red; el cobre por ser de menor radio atómico causa una contracción en el eje C de la red del zinc (solvente).

Siguiendo la ley de VEGARD, se pensó que esta variación es proporcional al porcentaje de soluto; estudios de HUME - ROTHERY mostraron que este fenómeno es una excepción antes que una regla en el caso de soluciones sólidas de metales.

LOHBERG determinó que durante el envejecimiento hay una difusión de cobre de la fase β provocando una dilatación o expansión de la red cristalina del zinc.

1.4.6 Precipitación del aluminio de la fase β .

El aluminio cristaliza en el sistema cúbico; los radios atómicos del aluminio y del zinc no son iguales (Al , 4.091 \AA) ; el aluminio tiene mayor radio atómico; al sustituir a los atomos de zinc crea una expansión del eje C de la fase β .

LOHBERG determinó que durante el envejecimiento el aluminio difunde provocando una contracción en la red cristalina del zinc.

La precipitación del exceso de cobre y aluminio del zinc puede alterar las dimensiones de la pieza principalmente cuando se tiene un alto porcentaje de cobre; para porcentajes de cobre menores al 1 % el efecto del cobre puede ser compensado por el aluminio.

En todas las reacciones analizadas hay una alteración en las dimensiones del material, efecto debido principalmente al cobre.

Estudios realizados por GERALS mostraron que la adición de 0.01 % Mg equivale a la adición de 2 % Cu ; también se puede utilizar silicio, el silicio forma fases estables en el sistema Zn - Al - Si , y además incrementa la velocidad de descomposición de la fase β ; con la presencia del silicio no se presenta la reacción tetrafásica.

En la actualidad existe poca información sobre las aleaciones ternarias Zn - Al - Si ; para obtener buenas propiedades mecánicas y disminuir la inestabilidad dimensional durante el envejecimiento se debe agregar silicio y cobre, al igual que el magnesio se usa con el cobre en las aleaciones de zinc y aluminio.

1.5 Práctica de envejecimiento.

1.5.1 Preparación de probetas.

Las probetas de tracción e impacto se fabricaron de acuerdo a las Normas ITINTEC y las de dureza se hicieron de una pulg. de diámetro por 6 mm de espesor.

1.5.2 Proceso de solubilización.

Las probetas fueron solubilizadas en un horno de laboratorio marca Gallenkamp (T máx. 1200 °C a 310 °C durante dos horas, luego fueron templadas en agua.

1.5.3 Proceso de envejecimiento.

El envejecimiento se realizó a temperatura ambiente; las muestras se expusieron al medio ambiente en un lugar libre de humedad.

El envejecimiento a mayor temperatura se realizó en un horno de laboratorio modelo D - 5982 Nevenrare (T máx. 250 °C +/- 2 °C ; el envejecimiento se hizo a las temperaturas de 100, 150 y 200 °C mantenidas durante 1/2 , 2 y 3 hs. luego fueron templadas en agua fría.

1.6 Influencia del tiempo.

Las reacciones de transformación en estado sólido de las fases metaestables son lentas, debido a que las reacciones de equilibrio ocurren por difusión.

La adición de cobre y magnesio en la aleación Zn-12Al incrementa el tiempo para la transformación de la fase β desde un minuto a varios días, a temperatura ambiente.

El cobre forma con el zinc la fase ϵ ; ésta fase se transforma lentamente en la fase T' ; la transformación completa demora muchos meses a temperatura ambiente.

Para disminuir el tiempo de transformación se debe incrementar la temperatura.

1.7 Influencia de la temperatura.

La temperatura juega un papel preponderante en el envejecimiento, pues incrementa la cinética de difusión; esto conduce a una disminución en el tiempo de envejecimiento.

Si la temperatura es baja, la velocidad de transformación es controlada por la velocidad a que pueden emigrar los átomos (velocidad de difusión)

A temperatura intermedia se incrementa la velocidad de precipitación; esto se debe a la combinación de las velocidades de difusión y nucleación.

Si la temperatura está cercana a la línea de solubilidad, la velocidad de precipitación decrece, debido a que la velocidad de precipitación es controlada por la velocidad de nucleación.

2.- ENSAYOS METALURGICOS

2.1 Ensayos mecánicos.

2.1.1 Resistencia a la tracción.

En la práctica real, la experiencia ha demostrado que en materiales en estado fundido a temperatura ambiente la resistencia no varía al transcurrir el tiempo.

A 100 °C durante los 100 primeros días la resistencia decae y la ductilidad se incrementa; pasado este tiempo la resistencia y ductilidad tienden a ser constantes, como se indica en la Figura 3 .

Pruebas realizadas en el laboratorio en probetas solubilizadas a 310 °C y envejecidas a diferentes temperaturas y tiempos indican que al incrementar el tiempo y la temperatura el envejecimiento se acelera considerablemente reflejándose en la variación de la resistencia y la ductilidad (ver Cuadro 1) .

2.1.2 Dureza.

La dureza no varía con el tiempo, a temperatura ambiente en productos en estado fundido. Pruebas realizadas después de 5000 hs. a temperatura ambiente verificaron la misma dureza.

Pruebas de laboratorio en probetas solubilizadas a 310 °C y envejecidas, demostraron que la dureza decrece con el incremento de la temperatura y el tiempo.

La máxima dureza se consigue en estado solubilizado; esta dureza decae lentamente hasta 150 días aproximadamente. Después de este tiempo la dureza se mantiene constante dando un valor semejante a la del producto fundido; en la Figura 4 indicamos la variación de la dureza con la temperatura y el tiempo.

2.1.3 Impacto

La resistencia al impacto decrece con la temperatura de envejecimiento. Si el envejecimiento se realiza a 100 °C durante 10 días la resistencia al impacto decrece en un 35 % .

Pruebas realizadas en probetas solubilizadas a 310 °C comprobaron que la resistencia al impacto decrece con el aumento de la temperatura y del tiempo de envejecimiento. (Ver Cuadro 1).

C U A D R O 1

TRATAMIENTO	TIEMPO	TRACCION Kg/mm ²	ELONG. %	IMPACTO(1) lb-pie
Solubilizado a 310 °C	-	34	1.5	1.2
Envejecido a Temp. Amb.	264 días	29.8	1.8	-
Envejecido a 100 °C	1/2 h 3 h	33.9 33.5	1.8 1.9	1.1 0.9
Envejecido. a 150 °C	1/2 h 3 h	30.4 28.9	1.8 2.2	1.05 0.9
Envejecido a 200 °C	1/2 h 3 h	27.3 25.8	1.9 2.3	1.0 0.8

(1) Charpy tipo B

2.1.4 Estabilidad dimensional

Las aleaciones de zinc son inestables dimensionalmente; durante el envejecimiento sufren inicialmente una contracción y luego una expansión.

Pruebas realizadas a 100 °C mostraron que la expansión lineal es de 10^{-6} pul/pul/día a temperatura ambiente; después de un año el material adquiere una velocidad de contracción de 3×10^{-7} pul/pul/día

En el Cuadro 2 indicamos el cambio dimensional de la aleación Zn-12Al a diferentes temperaturas.

CUADRO 2

Cambio dimensional de la aleación Zn-12Al

TEMPERATURA °C	TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	CAMBIO DE LONG. cm/m
20	210 días	-0.003
	245 días	-0.010
	265 días	-0.013
100	10 días	-0.014
	50 días	-0.007
	100 días	-0.002
	150 días	0.003
	200 días	0.006
175	1 h	-0.002
	5 h	0.002
	10 h	0.003
	100 h	0.006
	900 h	0.006
	1000 h	0.006

Fuente de información :

(1) Design applications of gravity cast zinc ILZRO 12 .
1972

(2) Canadian metallurgical quarterly , Vol. 25 . 1986

2.2 Análisis metalográfico.

2.2.1 Preparación de probetas.

Las probetas para el análisis metalográfico fueron las probetas usadas en la medición de la dureza. El proceso de desbaste y pulido se siguió de la secuencia indicada en el Capítulo III .

2.2.2 Reactivo de ataque.

COMPOSICION

Acido crómico	50 gr
Sulfato de sodio	4 gr
Agua destilada	100 cc

2.2.3 Observación micrográfica.

El análisis microográfico de las probetas envejecidas revela lo siguiente :

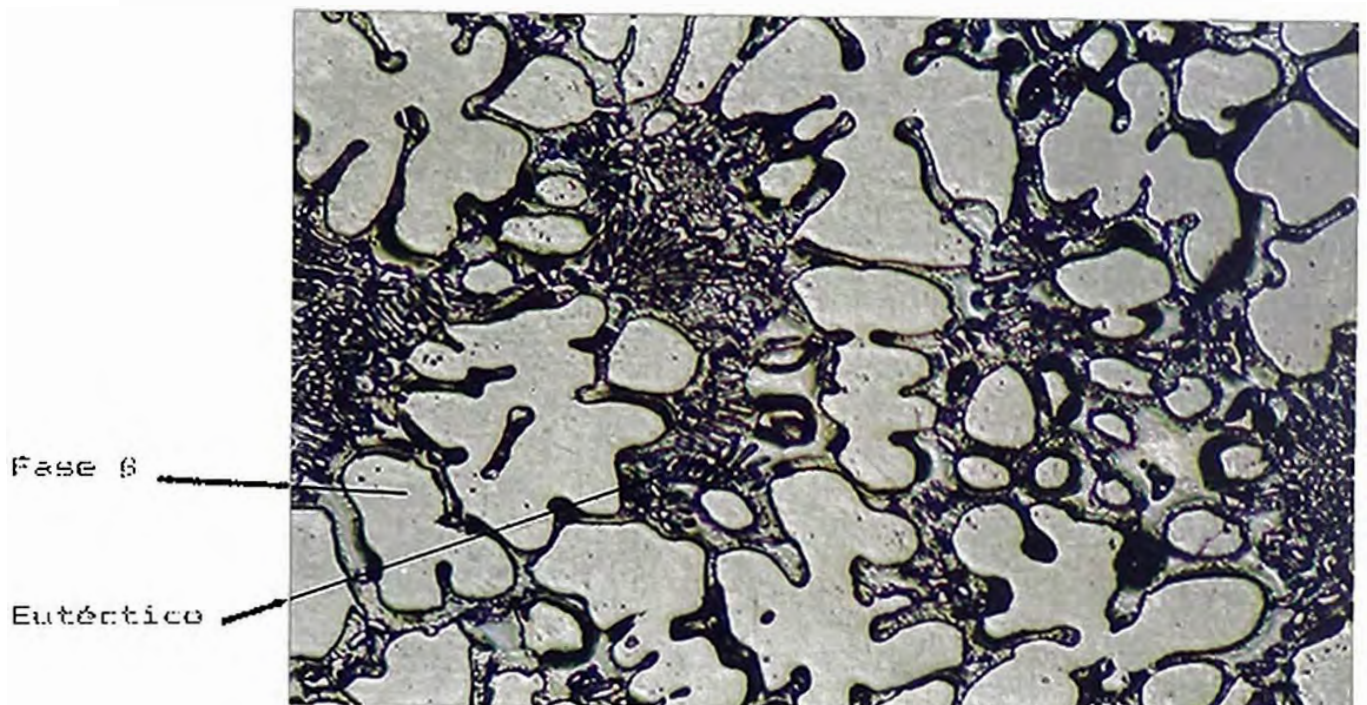
1.- El tratamiento de solubilización fue eficiente consiguiéndose una microestructura formada por la fase β y un eutéctico de morfología laminar, formada por láminas de fase β rica en aluminio y fase θ rica en zinc.

2.- El envejecimiento a 100 °C durante 1/2 h y 2h no genera alteración en la microestructura; después de 3h existe un inicio de transformación de la fase β .

3.- El envejecimiento a 150 °C durante 1/2 h no produce en la microestructura ninguna alteración ; recién después de 2 h aparece un precipitado dentro de la fase β , siendo mayor su presencia después de 3 h.

4.- Con el envejecimiento a 200 °C, la reacción eutectoide se incrementa, manifestándose en una mayor descomposición de la fase β .

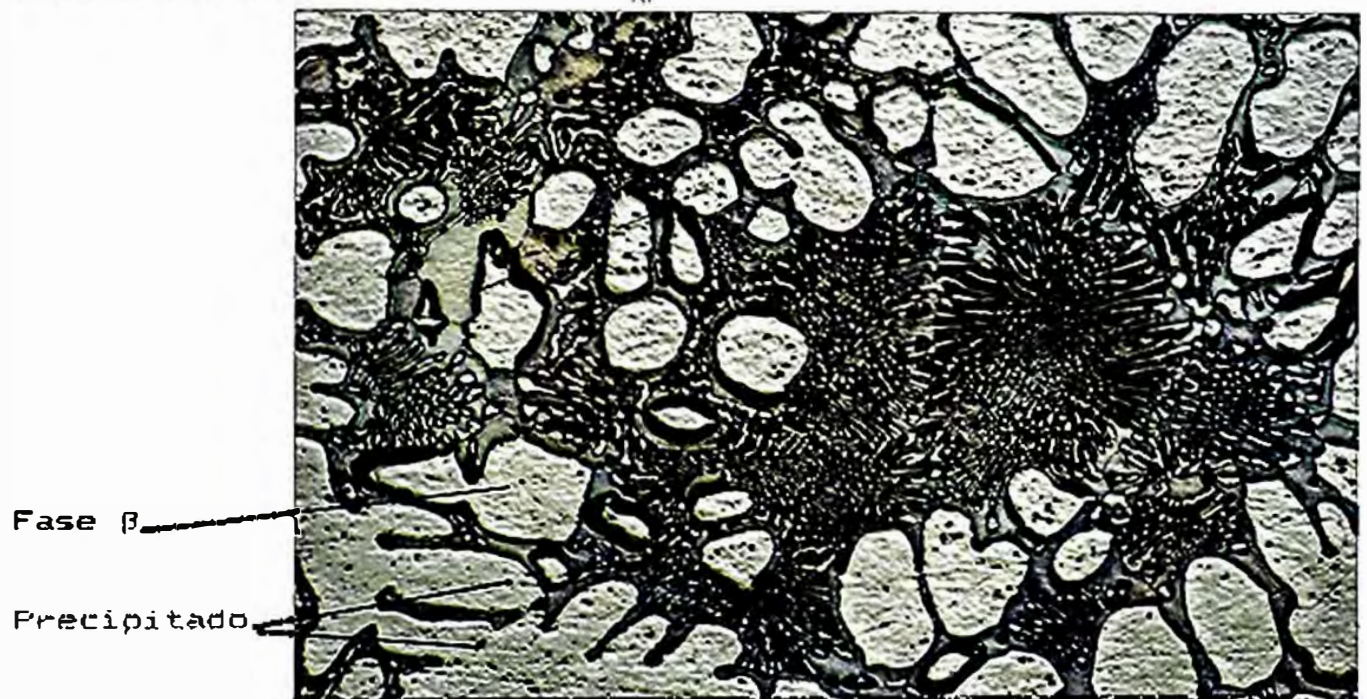
A continuación se muestran las microestructuras para cada caso.



Fotomicrografía 1. Sección transversal, probeta solubilizada a 310 °C por 2 h. (150 X).

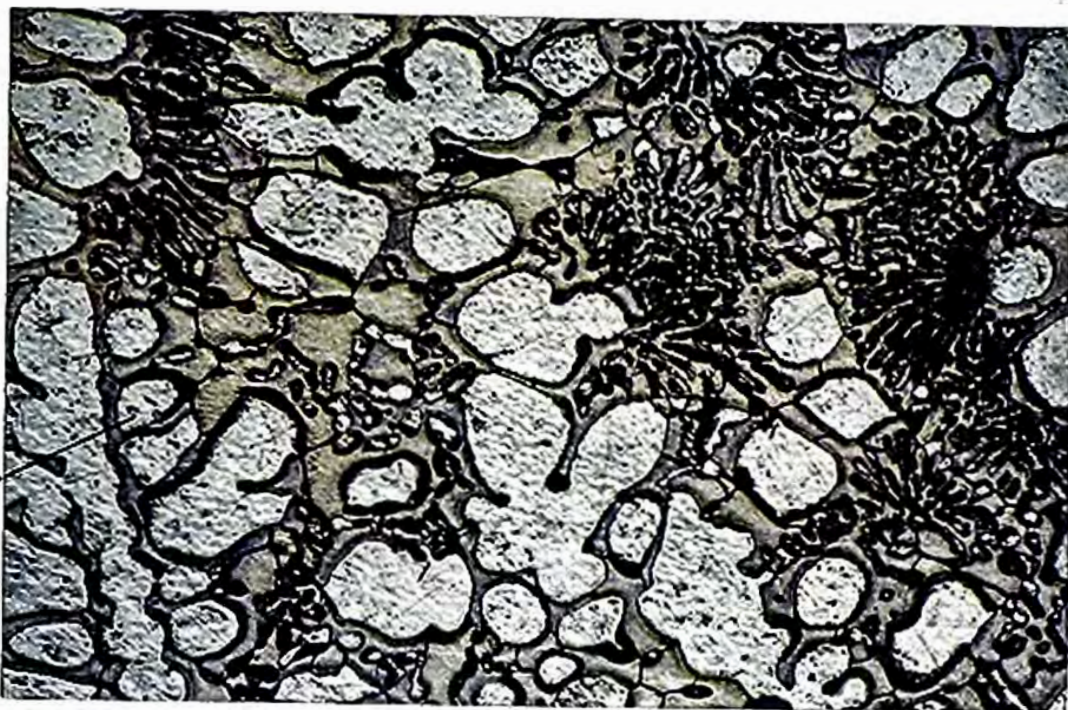


Fotomicrografía 2 . Sección transversal, envejecida a 100



Fotomicrografía 3 . Sección transversal, envejecida a 100
 °C por 2 h. (150 X).

Precipitado



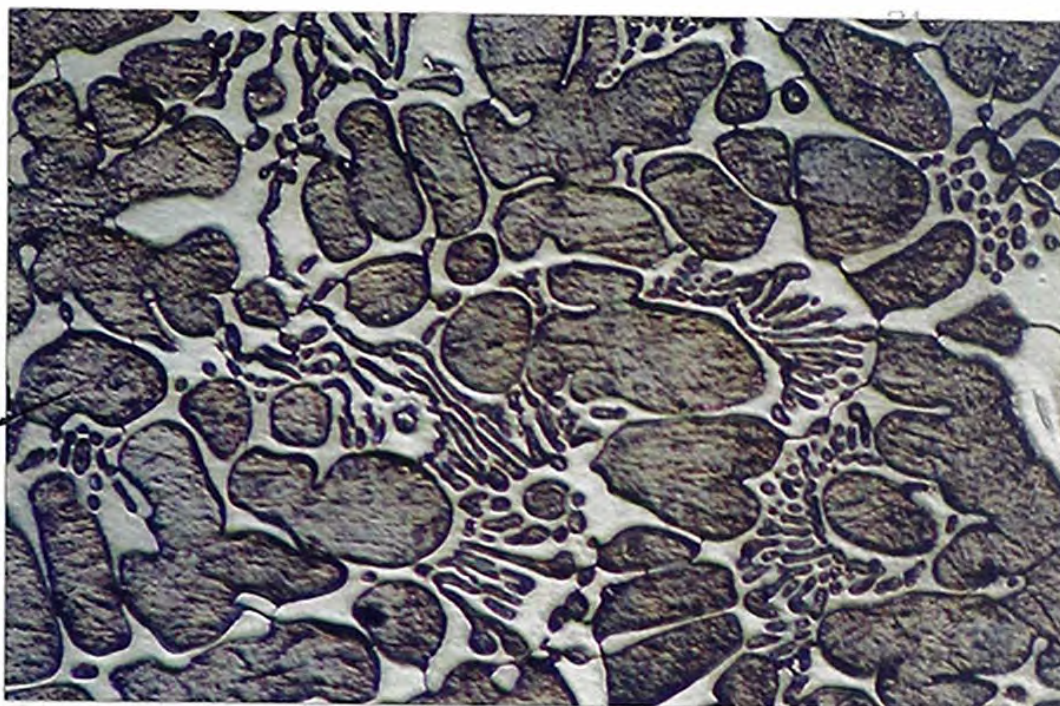
Fotomicrografia 4 . Sección transversal, envejecida a 150 °C por 2 h. (150 X).

Fase β
transformada.



Fotomicrografia 5 . Sección transversal, envejecida a 150 °C por 3 h. (150 X).

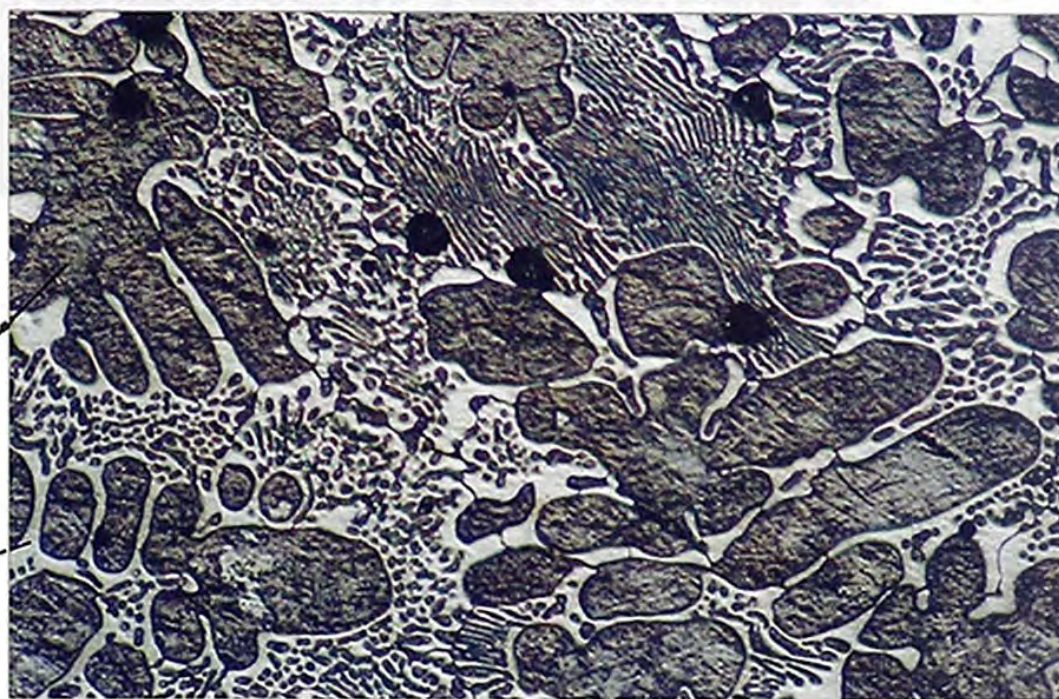
Fase β
transformada



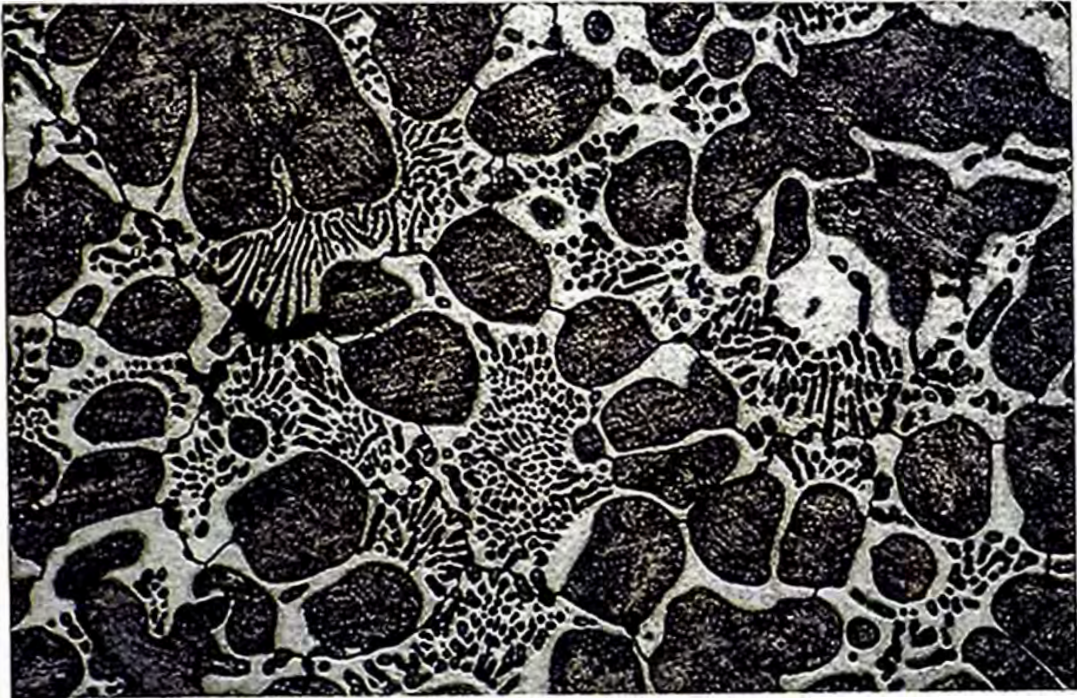
Fotomicrografía 6 . Sección transversal, envejecida a 20 °C por 1/2 h. (150 X).

Fase β
transformada

Fase α



Fotomicrografía 7 . Sección transversal, envejecida a 20 °C por 2 h. (150 X).



Fotomicrografía 8. Sección transversal, envejecida a 20°C por 3 h. (150 X).

3.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES.

3.1 Cobre.

El cobre es el que más influye en el envejecimiento; esto incrementa el tiempo de transformación de la fase β desde un minuto a varios días a temperatura ambiente.

Además, el cobre forma fases inestables con el zinc que se transforman lentamente en fases estables. Todas estas reacciones durante su transformación alteran la estabilidad dimensional del material.

3.2 Magnesio.

El magnesio reduce el porcentaje de cobre utilizado; por lo tanto, reduce el porcentaje de fases inestables ricas en cobre a temperatura ambiente. Además, su comportamiento es análogo al del cobre en la transformación de la fase β .

3.3 Silicio.

El silicio no forma fases inestables en aleaciones Zn-Al-Si, las cuales pudiesen alterar la estabilidad dimensional e incrementar el tiempo de envejecimiento.

Estudios recientes en aleaciones Zn-Al-Si-Cu han comprobado que estas aleaciones son estables y con buenas propiedades mecánicas.

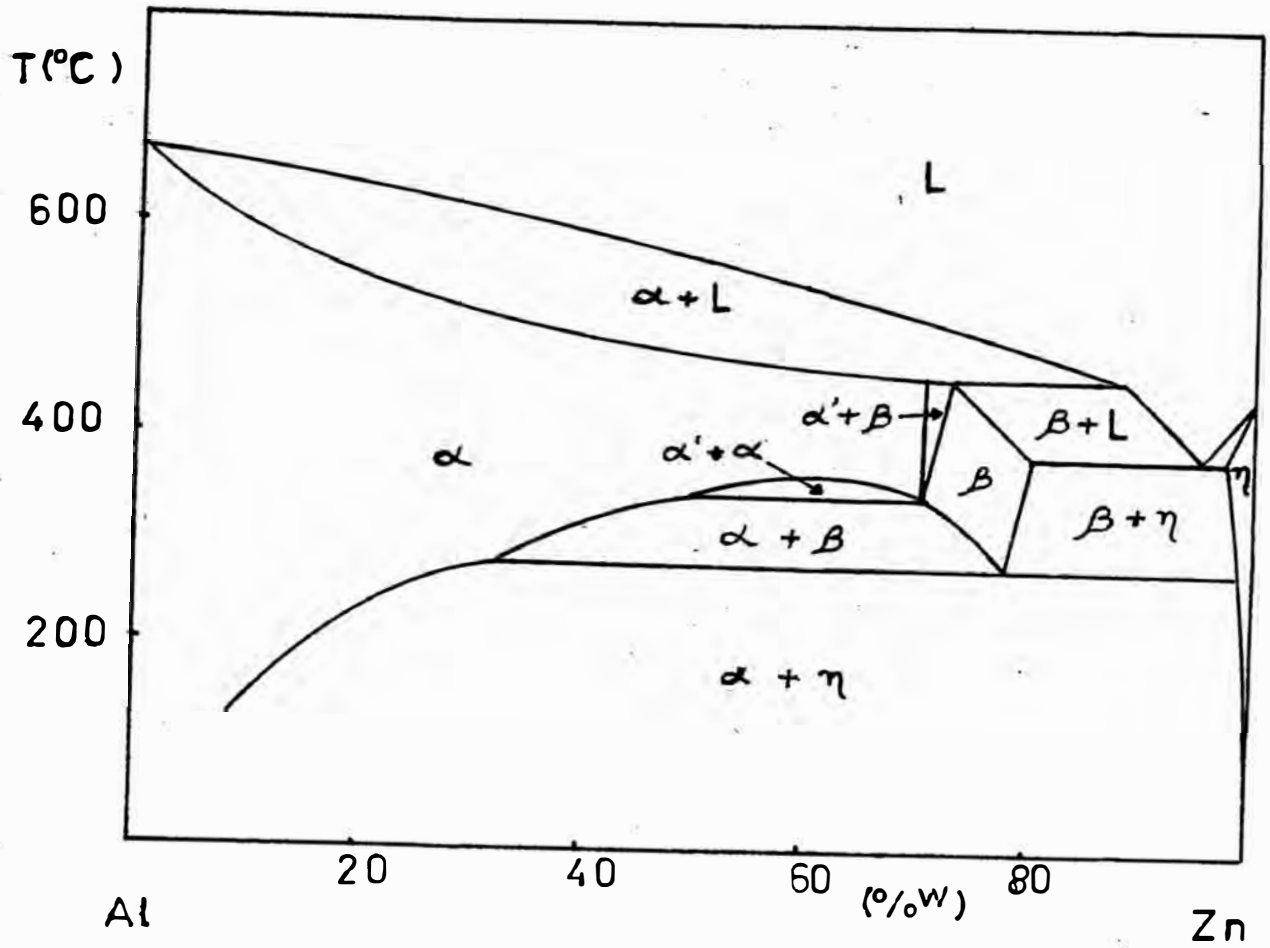
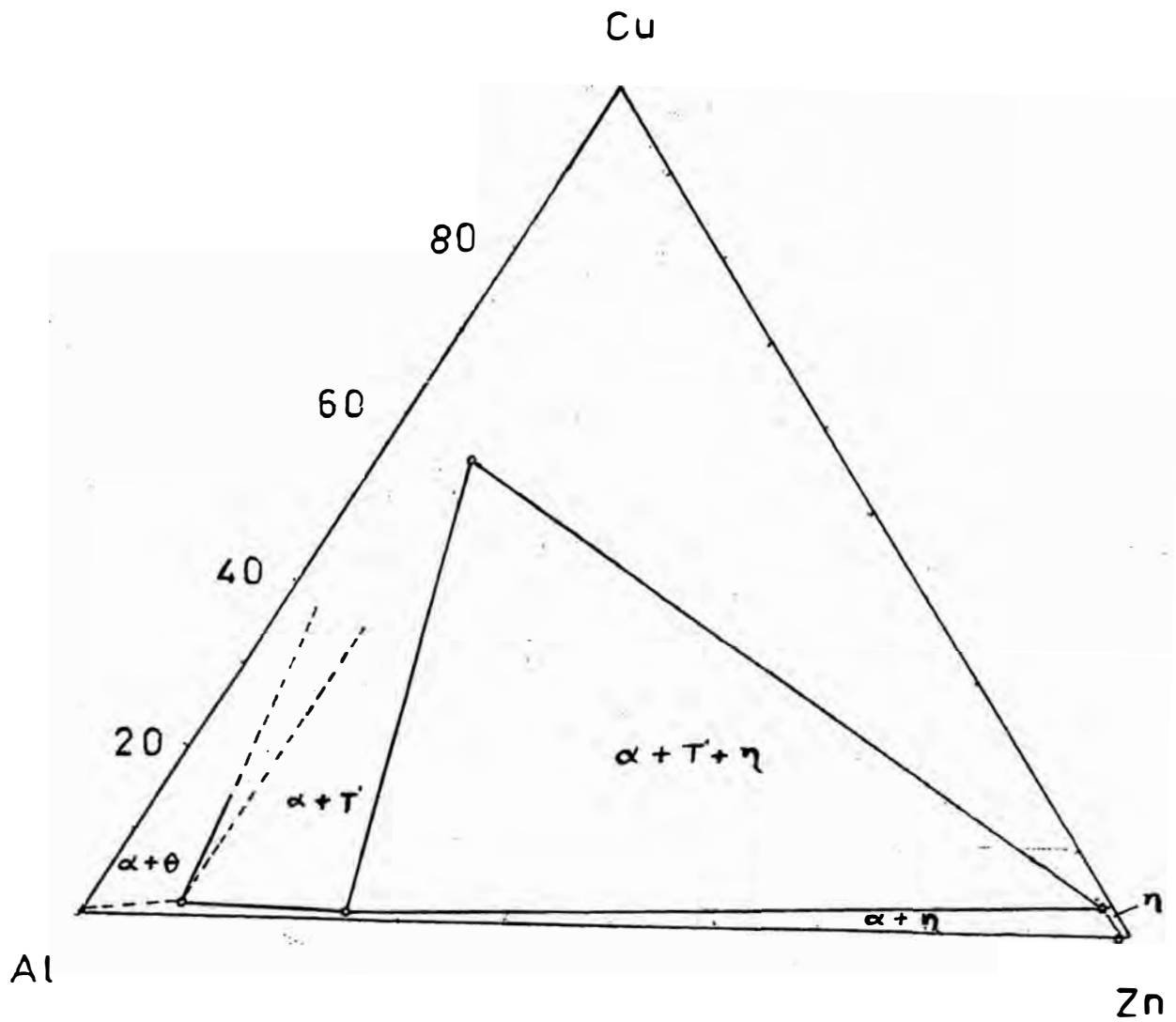


Fig 1 DIAGRAMA DE FASE Zn-Al



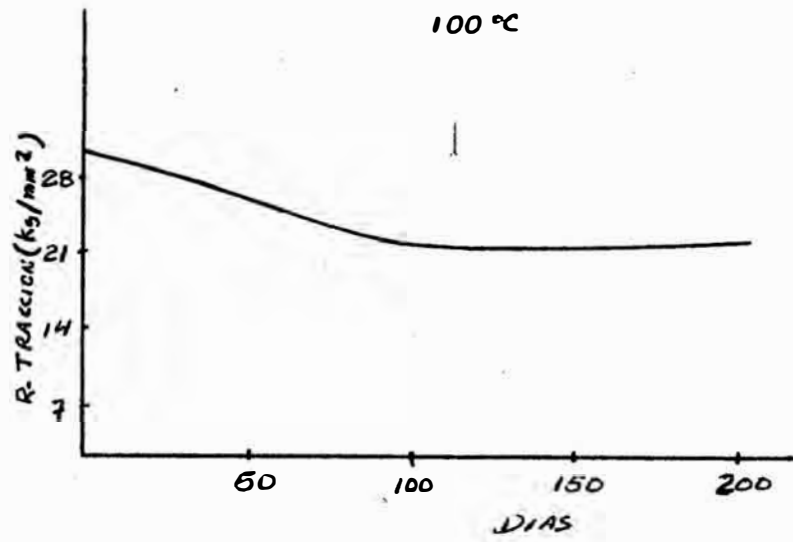
Sección isoterma a 250°C

Fig 2 SECCION ISOTERMA ATRAVES DEL
DIAGRAMA Zn-Al-Cu A 250 °C

Fig. 3

ENVEJECIMIENTO

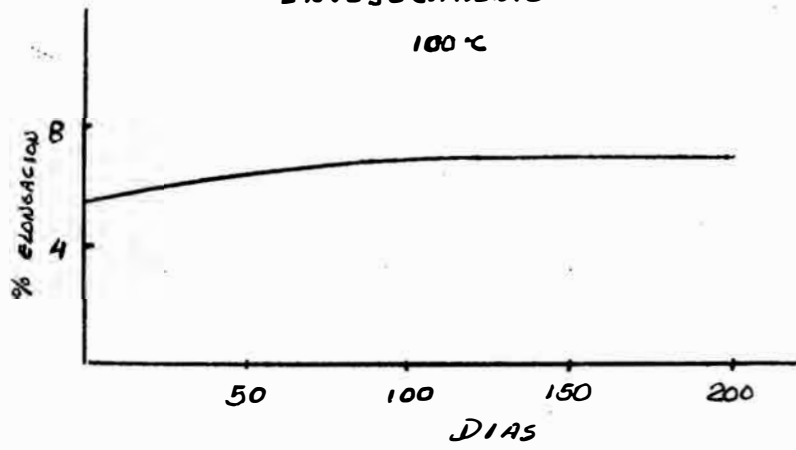
100 °C



(a)

ENVEJECIMIENTO

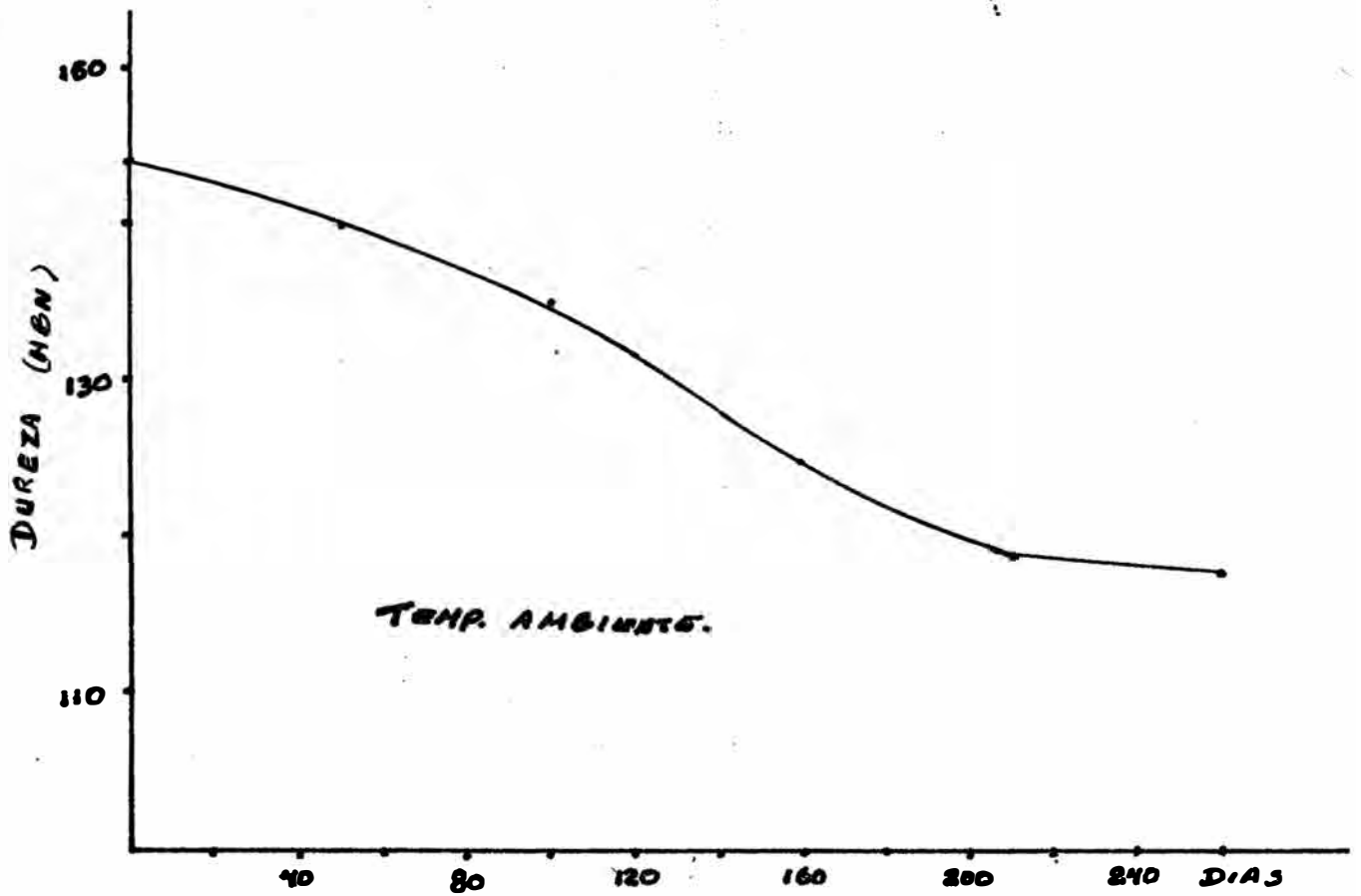
100 °C



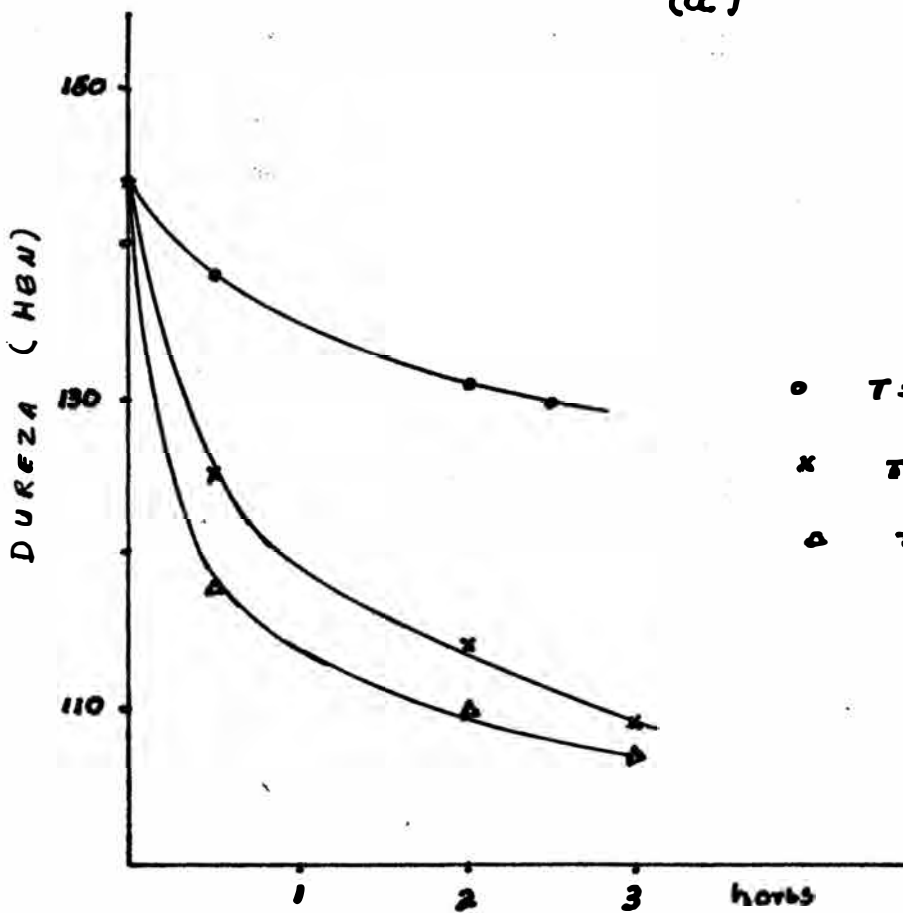
(b)

Fig. 4

CURVAS DE ENVEJECIMIENTO



(a)



(b)

C A P I T U L O V I

A P L I C A C I O N E S

C A P I T U L O V I

APLICACIONES

Debido a su amplio rango de propiedades y características de fundición y acabado, esta aleación está ganando aceptación sobre las aleaciones de aluminio, bronce, hierro fundido, etc.

Esta aleación tiene mucho uso en piezas donde se requiere una alta performance, especialmente en cojinetes.

Aunque los costos en materia prima para esta aleación son altos inicialmente, luego de que se incluyen los otros costos tales como los de fundición, maquinado, acabado, etc., y gracias a las bondades que presenta, la producción de esta aleación resulta ser más económica.

Actualmente muchas piezas que han sido fabricadas de hierro fundido, bronce, latones, etc. están siendo desplazadas por piezas fabricadas con aleaciones de zinc.

A continuación indicamos algunas aplicaciones que ya se están dando en otros países :

1.- Estuches para máquinas de estampar perforar, tarjeteras que soportan impactos continuos.

Estos estuches se fabricaban de fierro fundido; debido a que tenían que sufrir un intenso maquinado, el material se distorsionaba causando problemas de ajuste, además se tenían problemas de maquinado debido a los puntos duros e inclusiones no metálicas. Los estuches hechos con la aleación Zn-12Al usando las mismas herramientas no mostraron ninguna distorsión y las piezas fueron fácilmente maquinadas.

Sumando todos los costos de fundición, maquinado, acabado, y con ausencia de distorsiones, dieron un ahorro del 20 % del costo total. Además, estos estuches fueron ensayados al impacto más de 300000 ciclos sin fallar mientras los estuches de fierro experimentaron agrietamientos.

2. Anillos de cojinetes fabricados con bronce 80-10-10.

Estos anillos deben soportar el desgaste de un cojinete piñón sobre la cara del anillo que empuja una transmisión de potencia; dos años de extensos ensayos probaron que anillos de Zn-12Al suplantaban eficientemente a los hechos de bronce, además el costo de estos anillos es la mitad del costo del bronce.

3. Volantes fabricados en moldes permanentes.

Con la aleación Zn-12Al se probaron por 10,000 Hs. por un fabricante de correas de transmisión; la volante mostró un desgaste mínimo y un rendimiento equivalente al fierro fundido; cuando se probó con aluminio, estos

mostraron un fuerte desgaste.

4.- Grifería.

La aleación Zn-12Al está siendo usada ampliamente en grifería, la cual generalmente se fabrica de latón. Pruebas de corrosión garantizan el amplio uso de esta aleación, además los costos de fundición y acabado son menores comparados al latón.

5.- Piezas de computadora.

La aleación Zn-12Al se está usando también en la fabricación de piezas de computadora; fabricadas en procesos de cera perdida se obtienen con una alta precisión, llegando a espesores hasta de 0.35 mm ; esto permite una reducción significativa en el tiempo de fabricación, al evitar las operaciones de maquinado las cuales son difíciles e imposibles cuando se trata de piezas complejas de pared delgada.

6.- Piezas de maquinaria textil.

Generalmente se fabrican de acero y hierro fundido. En la India ya se están fabricando con la aleación Zn-12Al en moldes permanentes, consiguiéndose buenos resultados y una mayor producción.

En resumen, se puede demostrar que la aleación Zn-12Al es la más versátil de las aleaciones de zinc que se han desarrollado hasta ahora; se funde y cuela en muchas maneras desde moldes de arena hasta moldes permanentes, en fundiciones de grandes producciones, pequeñas producciones y hasta en prototipos.

C A P I T U L O V I I

C O N C L U S I O N E S Y

R E C O M E N D A C I O N E S

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- Una de las grandes bondades que presenta esta aleación es su fácil fabricación; no se requiere de una tecnología moderna, se puede fundir en cualquier horno de fundición no ferrosa e inclusive en hornos de resistencia eléctrica.
- 2.- En el proceso de fusión no es necesario el uso de desoxidantes, desgasificantes y/o fundentes, ya que el grado de oxidación y absorción de gases es mínimo.
3. La temperatura óptima de colada es de 520 °C .
- 4.- Las arenas a utilizar no requieren de un control estricto; se pueden usar arenas sintéticas o naturales, pero sí deben poseer granulometría fina.
- 5.- Los recubrimientos superficiales de los moldes pueden hacerse usando pinturas a base de grafito, hulla o alúmina.
- 6.- Las coquillas o moldes metálicos tienen un alto rendimiento en comparación a las aleaciones de cobre, aluminio o hierro fundido.
- 7.- La alta fluidez y colabilidad permiten fabricar piezas de espesores delgados y de geometría complicada con una

alta precisión dimensional.

8.- La materia prima debe ser de alta pureza para conseguir los porcentajes de plomo, cadmio y estaño dentro de los límites admisibles.

9.- El consumo de energía es bajo, siendo equivalente a 1/4, 1/2 y 3/4 del consumo para el fierro fundido, bronce y aluminio respectivamente.

10.- La aleación presenta una alta dureza, buena resistencia a la tracción, impacto, desgaste, deformación y fatiga en estado fundido.

11.- En estado fundido, las propiedades mecánicas se incrementan al descender la temperatura por debajo de los 0 °C

12.- La resistencia a la tracción, impacto y dureza decrecen con el tiempo y la temperatura de envejecimiento; a temperatura ambiente estas propiedades tienden a estabilizarse después de 180 días aproximadamente.

13.- Esta aleación tiene buena resistencia a la corrosión en medios acuosos neutros o alcalinos; no se recomienda su uso en medios que contienen cloro.

14.- El costo de la materia prima es relativamente alto comparado a las aleaciones tradicionales tales como fierro fundido, bronce, latones, aluminio, etc.; sin embargo, sumando los costos de fundición, maquinado, acabado y considerando las bondades que presenta, el costo total es

menor comparado con el de las aleaciones antes mencionadas.

15.- La alta precisión dimensional hace que las pérdidas en el maquinado sean mínimas.

16.- Se recomienda hacer estudios posteriores sobre la sustitución del cobre por silicio para eliminar la inestabilidad dimensional e incrementar aún más las propiedades mecánicas.

17.- Se recomienda evaluar la velocidad de corrosión en diferentes medios y estados del material.

B I B L I O G R A F I A

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Engineering properties of zinc alloys published by international Lead Zinc Research Organization; N.Y. 1980 .
- 2.- Design application of gravity cast zinc ILZRO 12 , published by International Lead Zinc Research Organization; N.Y. 1972 .
- 3.- The development of a family of zinc - base foundry alloys, by E. Gervais and H. Levert. AFS Transactions. 1980 .
- 4.- Effect of strontium on the structure and mechanical properties of Zn - Al foundry alloys, by M. Sahoo, L. Whiting, G. Weatherall. AFS Transactions. 1987
- 5.- Solid - state reactions in Zn - Al based alloys, by N. Mykura , Y. Zhu and S. Murphy. Canadian metallurgical quarterly. Vol. 25 , 1986 .
- 6.- An analysis of selected properties of ZA alloys, by E. Gervais, R. Barnhurst and C. Loong . Journal of metals, N. Y. 1985 .
- 7.- Microstructural study of Zn - 11 % Al and Zn - 27 % Al alloys, by J. Lecomte Beckers, L. Lerziev, J. Wegria and T. Greday., CIM 1986 .

- 8.- Microstructure study on the effect of Titanium in the ageing treatment of an Al - Zn - Mg alloy , by C. Chen and G. Judd. Metallurgical Transactions A, 1978 .
- 9.- The grain refinement of Zn - Al alloys by titanium, by W. Pollard, K. Pickwick, J. Jubb and R. Packwood. Transactions, Vol. 13, 1974 .
- 10.- Evaluation of the risering requirements for the ZA - 27 Zinc base alloy, by R. Barnhurst Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 27, 1988 .
- 11.- Solidification and foundry studies of Zn/Al alloys, by O. Ayik and M. Ghoreshy. Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland Physics Publishing Division), 1986 .
- 12.- Zinc - Aluminium foundry alloys 8, 12 and 27 ; Cominco, 1985 .
- 13.- Effects of magnesium on the microstructure, hardness and tensile properties of zinc alloys, by L. Neumeier and J. Risbäck. Bureau of Mines report of investigation, 1971
- 14.- Zinc alloys. Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 27 ; 1988 .
- 15.- Metals Handbook, vol. 7 and 8 , 8th edition. Edited by American Society for Metals.

16.- Metals Handbook, vol. 2 , 9th edition. Edited by
American Society for Metals.

17.- Metalurgia extractiva de los metales no ferrosos. John
Bray , 1947 .