

T
673
M385
L.3

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



D-5127

"RECICLAJE DE MATERIALES PARA LA PRODUCCION
DE ALEACIONES NORMALIZADAS DE ZN-AL"

TESIS DE GRADO
previa a la obtención del título de

INGENIERO MECANICO

presentada por

Richard
ERNESTO MARTINEZ LOZANO



Guayaquil-Ecuador

1983

DEDICATORIA

A mis Padres

A mis Hermanos

A mi Esposa

A mi Hija



LIBRARY

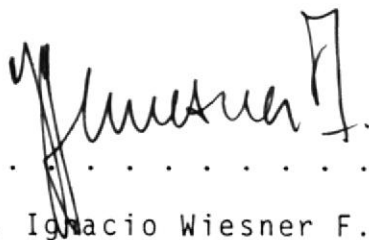
A G R A D E C I M I E N T O

A 1a ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

A los Profesores del Departamento de Ingeniería
Mecánica.

Al Ing. IGNACIO WIESNER F., Director de Tesis,
por su invaluable ayuda para la realización
de este trabajo.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ignacio Wiesner F.', is written over a horizontal dotted line.

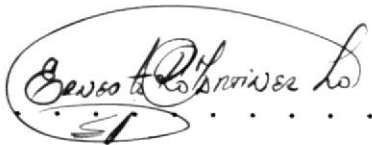
Ing. Ignacio Wiesner F.,
DIRECTOR DE TESIS



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).


.....

ERNESTO R. MARTINEZ LOZANO

RESUMEN

Utilizando un horno eléctrico, se fundió chatarra de zinc electrolítico, y aluminio ASTM 1100 para fabricar aleaciones Zn-Al para fundición a presión (aleaciones Zamak) empleando dos métodos diferentes; fundiendo chatarra directamente y empleando aleaciones madre, utilizando un molde metálico para el colado.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak fabricadas en el laboratorio se encuentran dentro de los rangos esperados de acuerdo a las normas existentes, el análisis químico demostró que la composición química corresponde a la composición de las aleaciones Zamak de norma, certificando de esta manera que las aleaciones Zamak obtenidas reciclando chatarras son similares a las obtenidas fundiendo metales puros en el exterior.

INDICE GENERAL



Pág.

RESUMEN.	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS.	IX
INDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCION.	14
I. FUNDAMENTOS TEORICOS.	17
1.1 Metalurgia de la aleación Zn-Al	17
1.2 Propiedades mecánicas de la aleación Zn-Al (Zamak) de acuerdo al método de moldeo.	43
1.2.1 Inyección.	43
1.2.2 Gravedad.	46
1.3 Efectos de los elementos de aleación, propósito especial y extraños en la aleación.	46
1.4 Estudio de materiales aprovechables para la fa- bricación de aleación Zn-Al.	57
1.5 Métodos de fabricación de aleación Zn-Al.	73
1.5.1 Por medio de aleaciones madre.	73
1.5.2 Por reciclaje de chatarras.	78
1.6 Uso del material en Ingeniería y en otros tipos	

VIII

	<u>Pág.</u>
de aplicaciones.	81
1.7 Control de calidad	84
1.7.1 Materiales de carga del horno.	84
1.7.2 Producto terminado.	86
II. TRABAJO EXPERIMENTAL.	89
2.1 Técnica experimental.	89
2.1.1 Obtención de aleación madre.	96
2.1.2 Obtención de aleación Zamak usando aleaciones madre.	97
2.1.3 Obtención de aleaciones Zamak usando chatarras.	99
2.2 Control de Ensayos.	104
2.2.1 Obtención de Muestras.	104
2.2.2 Análisis Químico.	105
2.2.3 Propiedades mecánicas.	106
2.2.3.1 Tracción.	106
2.2.3.2 Dureza.	108
2.2.4 Metalografía.	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
A.- Análisis de Resultados	123
B.- Conclusiones.	133
C.- Recomendaciones	144
APENDICE.	147
BIBLIOGRAFIA	173

INDICE DE FIGURAS



<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Primera operación del proceso de inyección. . . .	21
2	Segunda operación del proceso de inyección. . . .	22
3	Tercera operación del proceso de inyección. . . .	23
4	Cuarta y última operación del proceso de inyección.	24
5	Diagrama de Equilibrio de las aleaciones Zn-Al. .	32
6	Microfotografía de aleación Zamak-3 fundida por presión	33
7	Microfotografía de aleación Zamak-5 fundida por presión	34
8	Microfotografía de aleación Zamak-5 fundida en molde permanente	35
9	Microfotografía de aleación Zamak-3 fundida en molde permanente.	36
10	Microfotografía de aleación Hipereutética de Zn-Al.	37
11	Resultados de pruebas mecánicas sobre aleaciones Zn-Al conteniendo cantidades variables de aluminio	39



<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
12	Fotografía que muestra fractura superficial de una barra ϕ 3/8" de diámetro.	58
13	Microfotografía del borde de la fractura superficial de la Fig. Nº 12.	59
14	Fotografía del molde cerrado para producir las probetas.	93
15	Fotografía del molde abierto luego de extraer las probetas.	94
16	Dimensiones del molde utilizado para la obtención de las probetas.	95
17	Dimensiones para probetas para ensayo de tracción de materiales no ferrosos según norma ASTM E 8	109
18	Dimensiones de las probetas utilizadas para realizar el ensayo de tracción de las aleaciones producidas.	110
19	Microfotografía de la aleación madre Zn-Al 80-20 producida en laboratorio.	118
20	Microfotografía de la aleación Zamak-3 producida utilizando aleación madre.	119
21	Microfotografía de la aleación Zamak-5 producida utilizando aleación madre	120
22	Microfotografía de la aleación Zamak-3 fundiendo directamente chatarra.	121

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
23	Microfotografía de aleación Zamak-5 fundiendo directamente chatarra.	122
24	Vista general de la máquina para fundir por grave- dad construida en el Taller Mecánico de ESPOL. . .	134
25	Proceso de fusión de la aleación Zamak para fabri- car bujes para doillos de transportadores de cajas de banano.	135
26	Precalentamiento del molde, antes de recibir el metal líquido.	136
27	Proceso de colado, la aleación Zamak es vaceada lentamente en el molde	137
28	Molde completamente lleno de metal líquido	138
29	Proceso de desmoldeado, se abre el molde para extraer los cojinetes.	139
30	Vista del molde abierto con las piezas en las cámaras y la mazarota.	140
31	Vista de los cojinetes fuera del molde independizados de la mazarota.	141
32	Molde listo para repetir el ciclo una vez que se ha retirado los cojinetes producidos.	142
33	Fotografía de chatarra de Zinc, Aluminio y Cobre utilizado en la fabricación de las aleaciones Zamak. .	143



INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
I	Efecto de cocción sobre las propiedades mecánicas de la aleación Zamak-3 44
II	Composición química de las aleaciones Zn-Al (Zamak) para fundición a presión 47
III	Propiedades de las aleaciones a base de Zinc para fundición a presión (Zamak). 48
IV	Propiedades de las aleaciones Zamak fundidas por gravedad en arena. 49
V	Porcentaje de los elementos utilizados en la fa- bricación de la aleación Zamak 3. 102
VI	Porcentaje de los elementos utilizados en la fa- bricación de la aleación Zamak-5. 103
VII	Resultados del análisis químico efectuado a las pruebas realizadas para la obtención de las aleaciones Zamak. 107
VIII	Resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas de Zamak-3, producidas utilizando alea- ción madre. 112

IX	Resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas de Zamak-5 fundiendo directamente chatarra.	113
X	Resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas Zamak-3, producidos utilizando aleación madre.	114
XI	Resultados del ensayo de tracción realizado a probetas Zamak-5 fundiendo directamente chatarra.	115
XII	Dureza Brinell obtenida de los ensayos realizados a la Aleación Zamak-3.	116
XIII	Dureza Brinell obtenida de los ensayos realizados a la aleación Zamak-5.	117
XIV	Propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak preparadas reciclando chatarra.	127
XV	Determinación de los pesos de Zinc y aleación madre Zn-Al (80-20) para la fabricación de aleación Zamak-3 en base al peso deseado de esta aleación.	131
XVI	Determinación de los pesos de Zinc y aleación madre Al-Cu-Mg (80-20-0.80) para la fabricación de aleación Zamak-5 en base al peso deseado de esta aleación.	132



INTRODUCCION

En los últimos años el Ecuador orientó su desarrollo a través de un proceso de industrialización agresiva, que ha originado que varios campos de la metal-mecánica se encuentren produciendo en forma creciente partes de artefactos de uso doméstico, lo que, a su vez, origina una gran demanda de materias primas metálicas.

Por otro lado, el Gobierno ha implantado estrictas regulaciones sobre las importaciones limitando la capacidad de este tipo de empresas de abastecimiento de sus necesidades. Estos factores determinan una acción enérgica y rápida que sea una respuesta positiva al problema al que se ha visto avocada la producción.

Enfocando más concretamente, dentro de la industria metal-mecánica se necesitan que éstas produzcan una serie de aleaciones ferrosas y no ferrosas; de las últimas, existen un grupo de aleaciones que tienen grandes aplicaciones en la industria automotriz y cuyo metal base es el zinc siendo el elemento más importante el aluminio, los cuales tienen como nombre genérico Zamak.

Actualmente varias pequeñas industrias se encuentran procesando el Zamak para obtener diferentes artículos que son utilizados como partes automotrices, elementos para instalaciones eléctricas y en general sustitución de importaciones en piezas de ferreterías (tira-puertas, tira-cajones, bisutería, adornos, etc.) como también partes utilizadas en la fabricación de equipos de oficinas, en la fabricación de juguetes y artefactos domésticos.

El material utilizado hasta ahora ha sido importado tradicionalmente de un país Andino en forma de lingotes con calidad certificada y de acuerdo a normas de fabricación norteamericanas.

Lo que pretende esta tesis de grado en su investigación es sustituir parte de la importación por reciclaje de chatarra del mismo material o de zinc puro y fabricar la aleación con certificación de componentes químicos y propiedades mecánicas.

La chatarra de zinc utilizado en este trabajo ha sido obtenido de las planchas de zinc que se utilizan como ánodos de sacrificio en buques con cascos de acero.

La chatarra de aluminio usada corresponde a la norma Ame-

ricana ASTM 1100 correspondiente a conductores eléctricos.

Ensayada la aleación que se obtuvo utilizando zinc electrolítico con aluminio ASTM 1100 y realizando el proceso de fusión con un horno eléctrico, llevando a cabo el proceso de colado en molde metálico para la obtención de las probetas para los ensayos mecánicos demostrando que las aleaciones producidas cumplen con las normas ASTM, correspondientes para las aleaciones Zamak-3 (AG40A), Zamak 5 (AC41A).

También se ha podido detectar a través de este trabajo que esta práctica además de ser confiable técnicamente posee un costo menor que la materia prima importada.



CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS



1.1. METALURGIA DE LA ALEACION Zn-Al

Generalidades

Las aleaciones de zinc-aluminio son muy utilizadas en los procesos de inyección o fundición a presión para la obtención de piezas para automóviles, equipos de oficinas, partes para instalaciones eléctricas, juguetes, materiales de ferretería, etc.

En el Ecuador hasta hace aproximadamente unos cinco (5) años todas las piezas de aleaciones zinc-aluminio inyectadas eran importadas, en cambio en la actualidad existen algunas industrias dedicadas a la inyección de la aleación zinc-aluminio, aunque aún se depende de la importación de aleaciones de un país Andino.

Por esta razón, el objeto de este trabajo es el de

reciclar chatarra que contenga materiales de zinc y aluminio, de tal manera que recuperando estos materiales estemos en capacidad de obtener las aleaciones de zinc-aluminio, las cuales serían utilizadas en procesos de inyección.

Se conoce como fundición a presión o proceso de inyección al procedimiento de moldeo consistente en introducir metal en estado líquido en un molde metálico que posee la forma de la pieza con dimensiones precisas, a una velocidad de producción elevada, inyectando metal fundido a altas presiones (oscilan entre 80 Kgr/m^2 y 1500 Kgr/m^2).

Este proceso ofrece el camino más corto para pasar del lingote a la pieza acabada. Su aplicación se limita a grandes series y, fundamentalmente, con el empleo de aleaciones no ferrosas.

La iniciación de la fundición a presión se remonta al año 1870, usándose, en aquella primera etapa, las aleaciones de plomo y estaño, debido a sus bajas temperaturas de fusión. Durante la primera Guerra Mundial se comenzaron a inyectar aleaciones de zinc, desplazando su producción a la de los metales anteriores.

La inyección de aleaciones de estos metales se efectuaba con máquinas de cámara caliente, en las cuales la cámara de inyección está introducida en la aleación fundida. Cuando se comenzaron a usar las aleaciones de aluminio, debido a su punto de fusión más elevado y al ataque por el caldo del sistema inyector, se desarrollaron las máquinas de cámara fría. La aleación fundida se trasvasa con una cuchara metálica, manual o automáticamente, desde la cual un émbolo lo inyecta en la cavidad del molde. El desarrollo de la fundición a presión de las aleaciones de aluminio se alcanzó en la década de los años cuarenta.

Las máquinas de fundición a presión son, en esencia, unas prensas que aseguran el cierre y abertura de un molde; poseen un sistema de inyección para introducir el metal en la cavidad del molde metálico y están provistas de un dispositivo de expulsión con el cual pueden separar fácilmente las piezas inyectadas del semi-molde móvil, en el cual éstas deben quedar adheridas al abrirse el molde.

El ciclo de inyección se realiza según los siguientes pasos sucesivos:

- Cierre del molde
- Inyección del metal en la cavidad
- Abertura del molde
- Expulsión de la pieza
- Aplicación de revestimientos y desmoldantes

Un molde está constituido por un conjunto de elementos metálicos de características elevadas que, en posición cerrada, dejan una cavidad cuya forma es la de la pieza a obtener y la de los canales de alimentación por donde fluye el metal inyectado. Naturalmente, la construcción de un molde es para cada pieza una labor especial; en el caso más simple, la cavidad del molde está formada por dos (2) mitades y, dependiendo de la complejidad de la pieza, aumenta el número de partes que forman dicha cavidad.

La fundición a presión es un método de moldeo actualmente muy empleado, debido a la variedad de piezas que pueden obtenerse, con tolerancias muy estrechas, perfecta reproducción de detalles, considerable economía y elevada velocidad de fabricación.

El progreso de la fundición a presión ha sido muy rápido en los últimos años y cada día se obtienen pie -

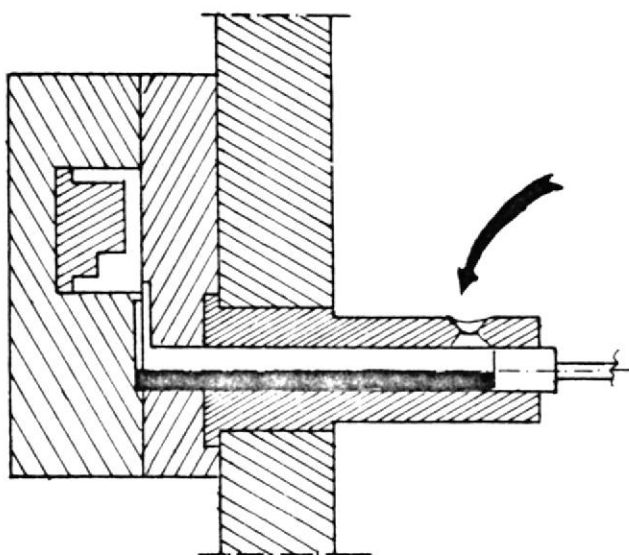


Figura N° 1.

Con el molde cerrado, se cuela el metal en la cámara de inyección, según se indica con la flecha.

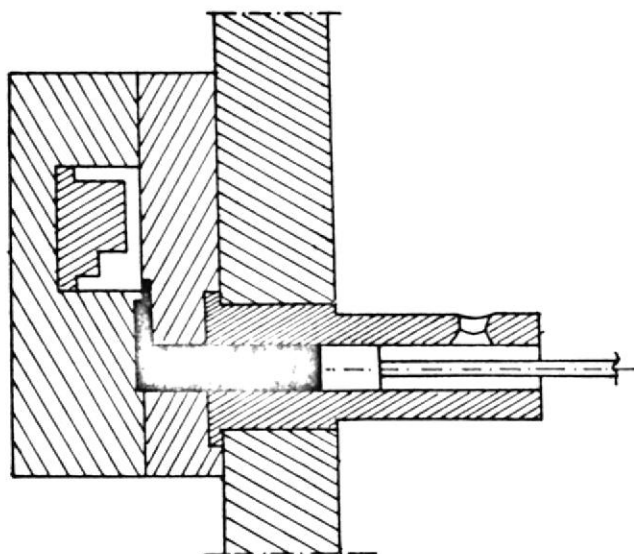


Figura N° 2

Se produce un avance lento del émbolo (la fase de inyección para agrupar el metal en la parte anterior de la cámara y permitir que salga una gran proporción de aire. Seguidamente, el émbolo se mueve a gran velocidad (1 a 10 m/seg) inyectando el metal en la cavidad del molde (2a. fase de inyección). Las velocidades medias del metal en las entradas a la pieza suelen ser del orden de 50 mm/s y el tiempo de llenado de la pieza va desde 0.02 seg. a 0.40 seg. dependiendo de numerosos factores.

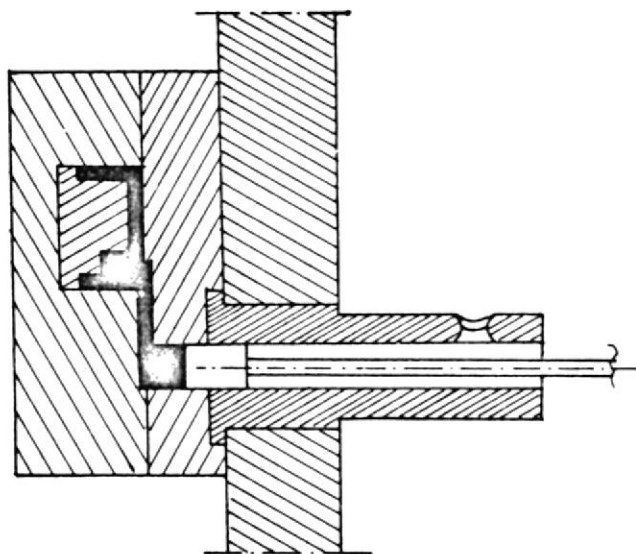


Figura N° 3

En la tercera fase de inyección, el émbolo apenas se mueve, efectuándose la compactación de la pieza colada por efecto del multiplicador de presión.

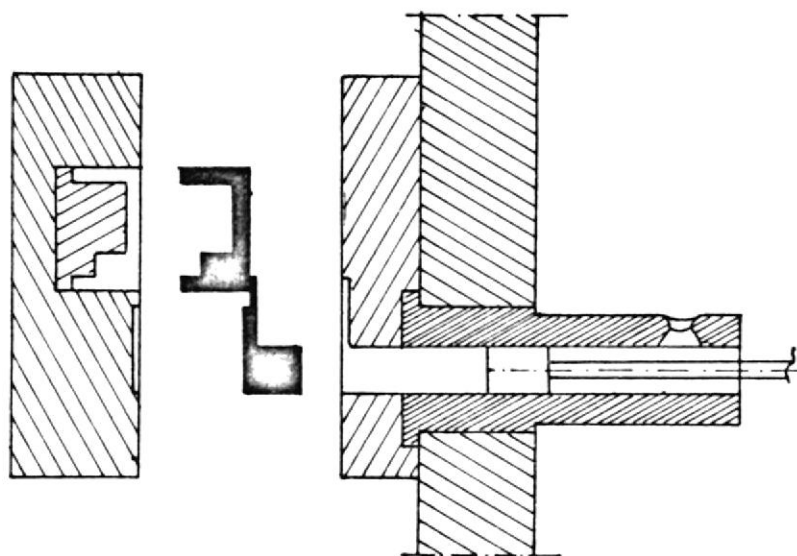


Figura N° 4

Finalmente, una vez solidificado todo el metal colado, se abre el molde, quedando el conjunto inyectado fijo al semi-molde móvil (izquierda), desde el cual es separado mediante expulsores.

zas mayores, más complejas, más sanas y resistentes. La industria del automóvil ha sido la que ha promovido más el desarrollo de la fundición a presión por la fabricación rápida de grandes series, excelentes calidades de acabado y diversidad de piezas que pueden construirse. Otras industrias en que se utiliza un gran tonelaje de piezas inyectadas son: equipos para agricultura, minería y construcción; otros transportes; herramientas y maquinaria industrial y comercial; equipos y máquinas de oficinas; herrajes para edificios; aparatos electrodomésticos; instrumentos fotográficos, ópticos y de registros, etc.

El desarrollo de la fundición a presión ha sido también posible debido a la evolución del equipo usado para la obtención de piezas inyectadas. En un principio las piezas que se obtenían eran relativamente pequeñas, pero, a medida que se alcanzaba experiencia se diseñaban piezas mayores, lo cual exigía máquinas cuyas fuerzas de cierre van de 5 ton. a 2500 ton. habiéndose alcanzado con equipos especiales una fuerza de cierre de 4500 ton. para producir piezas de aluminio muy grandes.

El tamaño máximo de las piezas inyectadas está limi -

tado por razones económicas y viene determinado por la superficie proyectada y el volumen de la pieza. La superficie proyectada del conjunto inyectado suele estar comprendida entre 200 mm^2 y 200.000 mm^2 . El costo de construcción del molde aumenta con el tamaño de la pieza y la complejidad de ésta.

Las tolerancias dimensionales se suelen mantener entre 0.3% y 0.5% para piezas pequeñas, pudiéndose conseguir tolerancias más pequeñas en las dimensiones de piezas donde no intervienen partes móviles.

El enfriamiento rápido de la pieza en el molde, produce en ésta una estructura fina que goza de una resistencia superficial elevada, además las secciones delgadas, debido a esta elevada resistencia superficial, tienen proporcionalmente, mejores características mecánicas que las secciones gruesas, sin considerar la posibilidad de rechupes en estas últimas secciones.

La fundición a presión es un método de producción rápida de piezas con un acabado superficial excelente, que presenta un interés económico para la fabricación de grandes series. Debido al costo elevado del molde, se necesitará la producción de un número mínimo de

piezas para asegurar la rentabilidad del procedimiento.

En la actualidad, las mayores producciones de piezas inyectadas corresponden a las aleaciones de aluminio, cuyo desarrollo sigue en aumento, y a las aleaciones de zinc (Zamak), cuyo desarrollo parece haberse estabilizado; le siguen las aleaciones de magnesio y los latones inyectados, pero con una producción muy inferior a los anteriores materiales.

Las aplicaciones fundamentales de las piezas inyectadas están destinadas a cumplir misiones decorativas o que hayan de soportar esfuerzos mecánicos; por tanto cuando se fabrican ha de tenerse presente la función que haya de desempeñar.

Una de las mayores aplicaciones de las piezas obtenidas por fundición a presión están destinadas a la industria de locomoción, que sobrepasa el 30% de la producción total. Ello se ha debido a diversos motivos. El principal, las grandes series que hay que producir. Este método de moldeo cumple los requisitos adecuados, ya que con un mismo molde, se pueden obtener del orden de 300.000 piezas idénticas en aleaciones de aluminio y cerca de un millón de piezas en aleaciones de zinc.

Otro motivo es la disminución de peso en vehículos, lo que ha hecho que las aleaciones de aluminio hayan ido desplazando a piezas moldeadas en materiales más pesados. Finalmente, la concepción de piezas que para un mismo material empleado, por fundición a presión se pueden obtener con espesores de pared más delgados, lo que las hace más livianas. Estos motivos contribuyen a que las piezas inyectadas resulten más económicas y además repercutirán en un menor consumo de energía por disminución de peso.

Las aleaciones de Zn-Al son muy adecuadas para hacer piezas fundidas a presión, porque el punto de fusión es razonablemente bajo, con lo cual se prolonga la duración de los dados y matrices, aunque sean hechos de acero normal y pueden lograrse alta precisión y buen acabado de la superficie.

Las aleaciones utilizadas en la actualidad en Estados Unidos para piezas fundidas a presión, en la práctica, están limitadas a las incluidas en la especificación B86 de ASTM ubicada en la Tabla II, donde se indican las composiciones nominales, las propiedades mecánicas, en cuanto a la composición química se indican.

Los bajos límites de impurezas que son necesarios para evitar la desintegración de las piezas fundidas debido a la corrosión intergranular en condiciones atmosféricas húmedas. La presencia de magnesio evita este efecto, si los contenidos de impureza no son mayores que los valores especificados. Las propiedades mecánicas indicadas, tal como se puede ver en la Tabla III son cifras promedio para probetas fundidas a presión para pruebas de tracción de 6.4 mm (0.250 pulg) de diámetro y para probetas para impacto, de sección cuadrada, de 6.4 mm (0.250 pulg) por lado. Se menciona en la norma que los valores especificados para estas propiedades se producen cuando se realizan los ensayos de toma de muestra bajo las mismas condiciones que se indican expresamente en la norma, caso contrario se deben esperar variaciones considerables de estos valores.

Las aleaciones de zinc para fundición a presión tienen propiedades más o menos similares. La aleación AG40A (Zamak-3) se destaca por su excelente retención de resistencia al impacto y de sus dimensiones. La aleación AC41A (Zamak-5) tiene resistencia algo mayor al impacto y muestra cierto crecimiento en las dimensiones cuando se utiliza a temperaturas cercanas a 100°C (212°F), para servicio a temperaturas normales no hay

mucha elección entre estas dos aleaciones.

Una medición de la dilatación de la pieza fundida a presión, después de haber estado expuesto al vapor de agua a 95°C (203°F) durante diez (10) días es un índice adecuado de su estabilidad y de que está exenta de susceptibilidad a la corrosión intergranular; pero, el análisis del contenido de impurezas tiene un uso más generalizado.

A causa de los cambios que ocurren en la estructura de las piezas de zinc fundidas a presión, éstas comienzan a contraerse de inmediato después de sacarlas del molde y el cambio ha llegado a sus dos terceras partes del total al cabo de cinco (5) semanas. El grado máximo de esta contracción es de alrededor de 0.001 pulg/pulg. La aleación AG40A (exenta de cobre) no se afecta y la aleación AC41A, con 1% de cobre, es poco afectada a la temperatura ambiente, la AC40A se puede estabilizar parcialmente con respecto a la contracción, por calentamiento durante 3 a 6 horas a 100°C (212°F). Las piezas fundidas deben estar a estas temperaturas durante ese tiempo y pueden enfriarse en la forma normal en el aire, hasta la temperatura ambiente.

Diagrama de Equilibrio de la Aleación Zn-Al

Las aleaciones Zamak son básicamente constituidas por zinc y aluminio en diferentes porcentajes, por esta razón se hará un estudio del diagrama de equilibrio Zn-Al a fin de establecer un conocimiento cabal de las reacciones y cambios que sufre la aleación de acuerdo con las temperaturas y composiciones.

Con un contenido de 5% de aluminio en la aleación Zn-Al aparece una forma laminar eutéctica entre el aluminio (alfa primario) y zinc (beta) como solución sólida a 382°C (720°F), el alfa primario constituyente del eutéctico es estable sólo a temperaturas sobre 275°C (527°F); bajo estas temperaturas, el eutectoide se transforma en fases alfa y beta aunque la solubilidad del aluminio en el zinc a la temperatura eutéctica es de aproximadamente el 1%.

Piezas fundidas conteniendo cantidades pequeñas como 0.10% de aluminio exhiben estructuras eutécticas en las áreas interdendríticas. Una concentración normal de aluminio en una aleación de zinc normalizada para inyección (4.0%). El grado de ataque por la fusión del hierro es suficientemente bajo, lo que permite

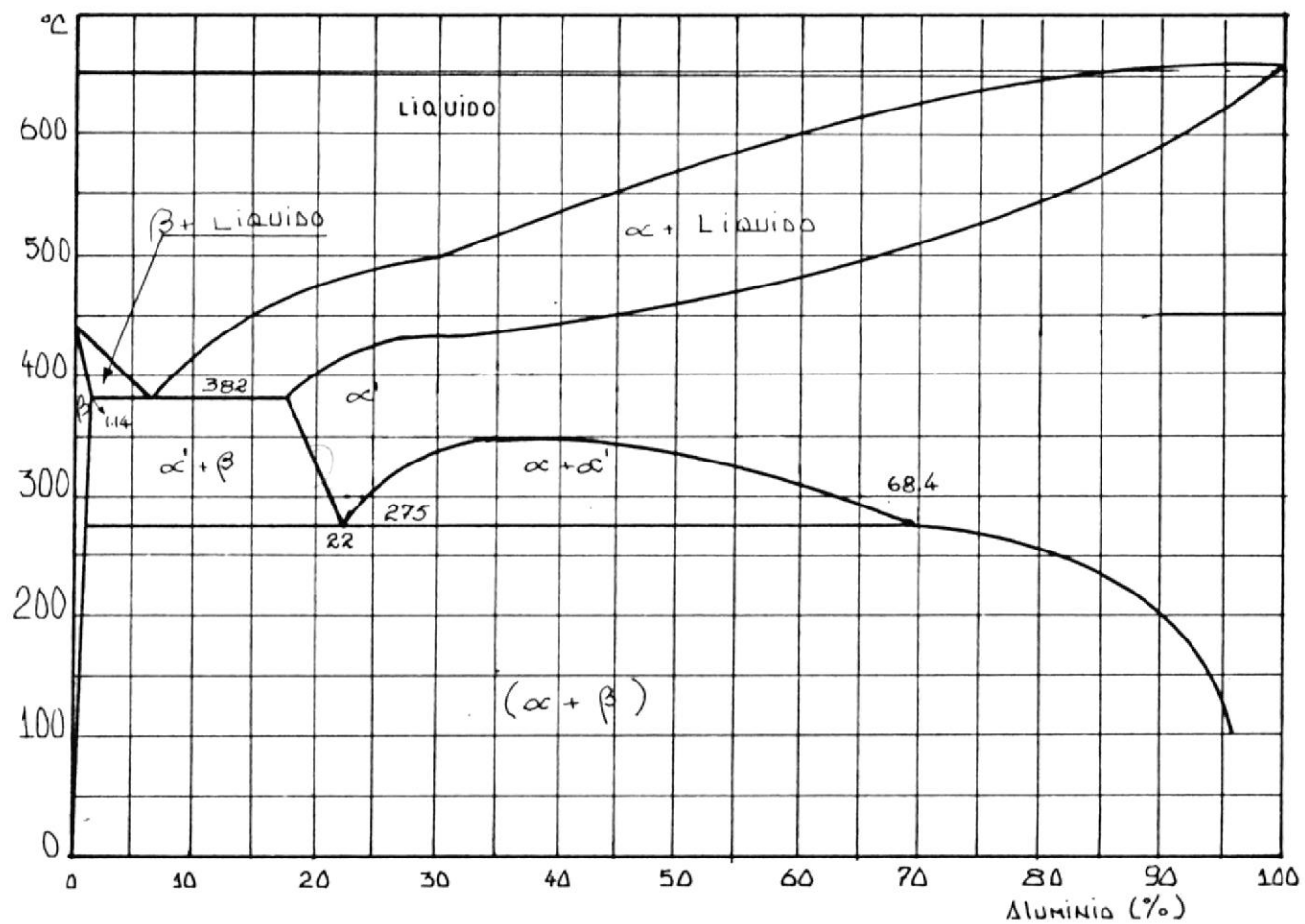
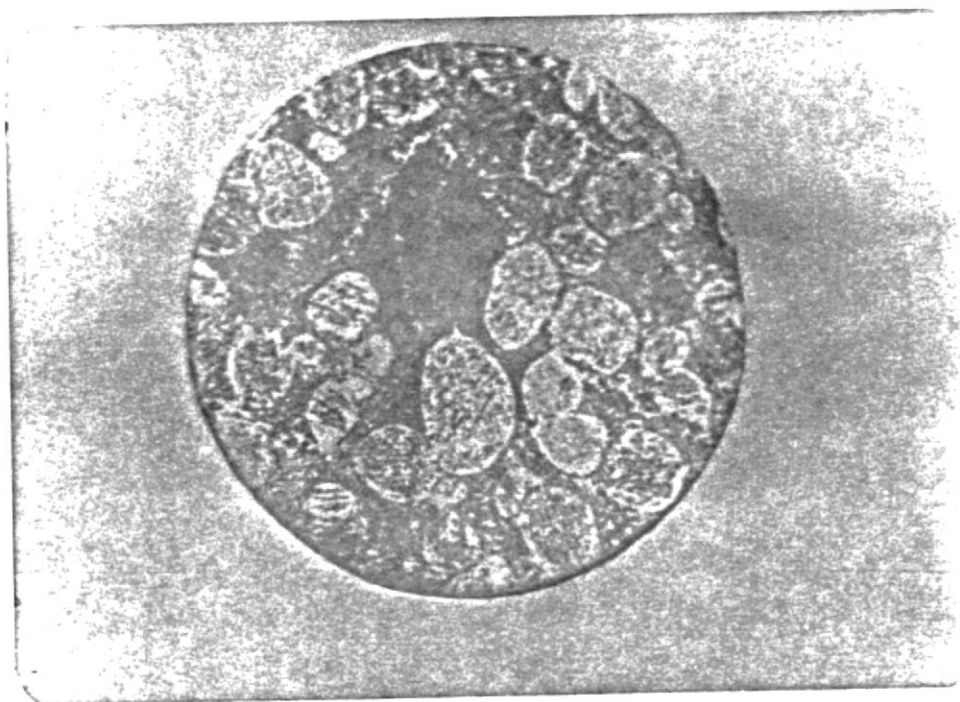


Figura N° 5

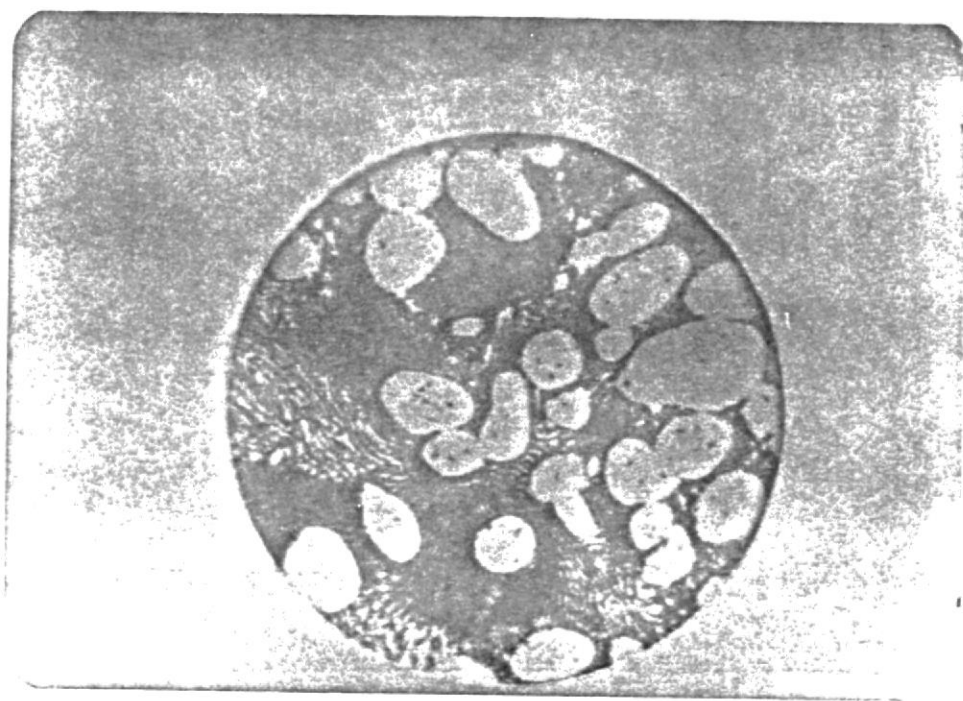
Diagrama de Equilibrio Aleaciones Zn-Al



50 gr. CrO_3 , 4 gr. Na_2SO_4 , 1 litro H_2O 1000 X

Figura N° 6

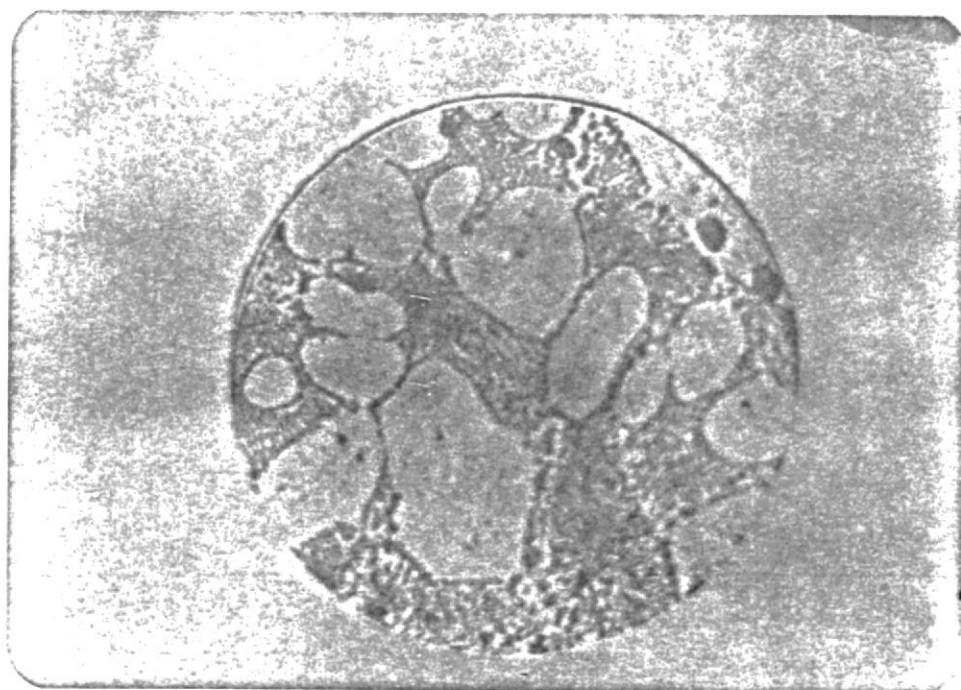
La presente micrografía corresponde a la aleación AG40A (3.5 - 4.3 Al, 0.02 - 0.05 Mg, 0.25 max Cu) como fue inyectada, la estructura consiste de solución sólida de zinc rodeada por eutéctico con Zn 5% Al.



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O 1000 X

Figura N° 7

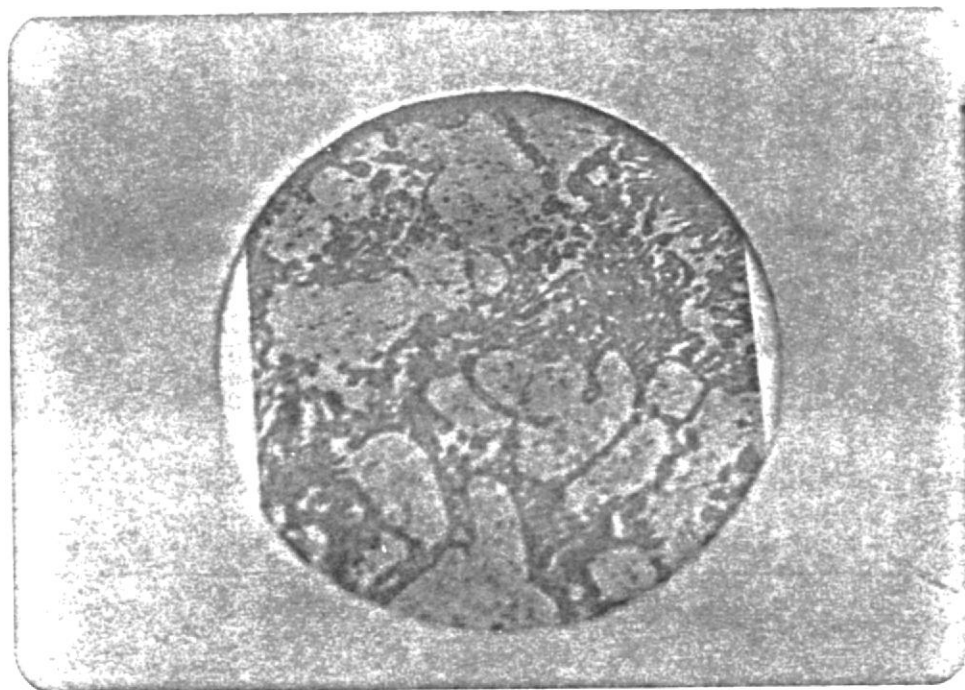
Microfotografía que corresponde a Aleación AC41A (3.5 - 4.3 Al, 0.03 - 0.08 Mg, 0.75 - 1.25 Cu) tal como fue fundida, es similar a la estructura de la aleación AG40A, pero AC41A contiene más cobre y magnesio.



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O 250 X

Figura N° 8

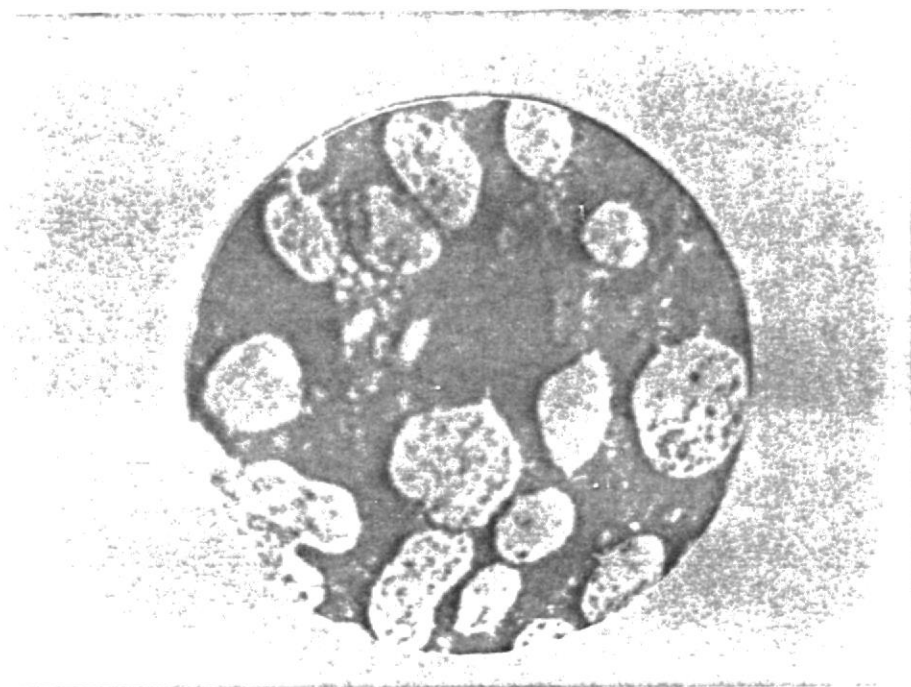
Microfotografía que corresponde a la aleación AC41A, fundido en molde permanente, la solución sólida primaria de zinc y láminas eutécticas son gruesas, resultando una baja resistencia a la tracción.



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 lt. H_2O 1000 x

Figura N° 9

Microfotografía que corresponde a Aleación hipoeutéctica AG40A (4 Al, 0.03 Mg), fundida por gravedad, su estructura es similar a una aleación hipereutéctica, solución sólida primaria rica en zinc en una matriz eutéctica.



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O 1000X

Figura N° 10

La presente micrografía corresponde a aleación hipereutética de Zn-Al, 22% Al.

fundir a presión en máquinas de cámara caliente, en las cuales el mecanismo operacional es de hierro y es sumergido continuamente en la aleación fundida.

Durante la solidificación de aleaciones hipoeutécticas de zinc para fundición a presión conteniendo cerca del 4% de aluminio, el primer material en solidificar aparece como partícula primaria de una solución sólida (Beta) rica en zinc, más tarde el líquido remanente solidifica como eutéctico formado de beta y alfa primario a alta temperatura en forma inestable, el aluminio actúa como una partícula refinadora en una fundición de zinc, con el resultado que la aleación obtenida por inyección o fundición a presión exhibe una verdadera estructura granular fina equiaxial. Esta estructura deseable es principalmente responsable del mejoramiento del esfuerzo, ductilidad y tenacidad de las piezas de zinc obtenidas por el proceso de inyección.

Cuando las aleaciones de zinc fundidas a presión son sometidas a un proceso de envejecimiento en un cuarto caliente o a temperatura levemente elevada ocurre una reacción de precipitación en la solución sólida beta rica en zinc, la solución beta puede contener cerca de

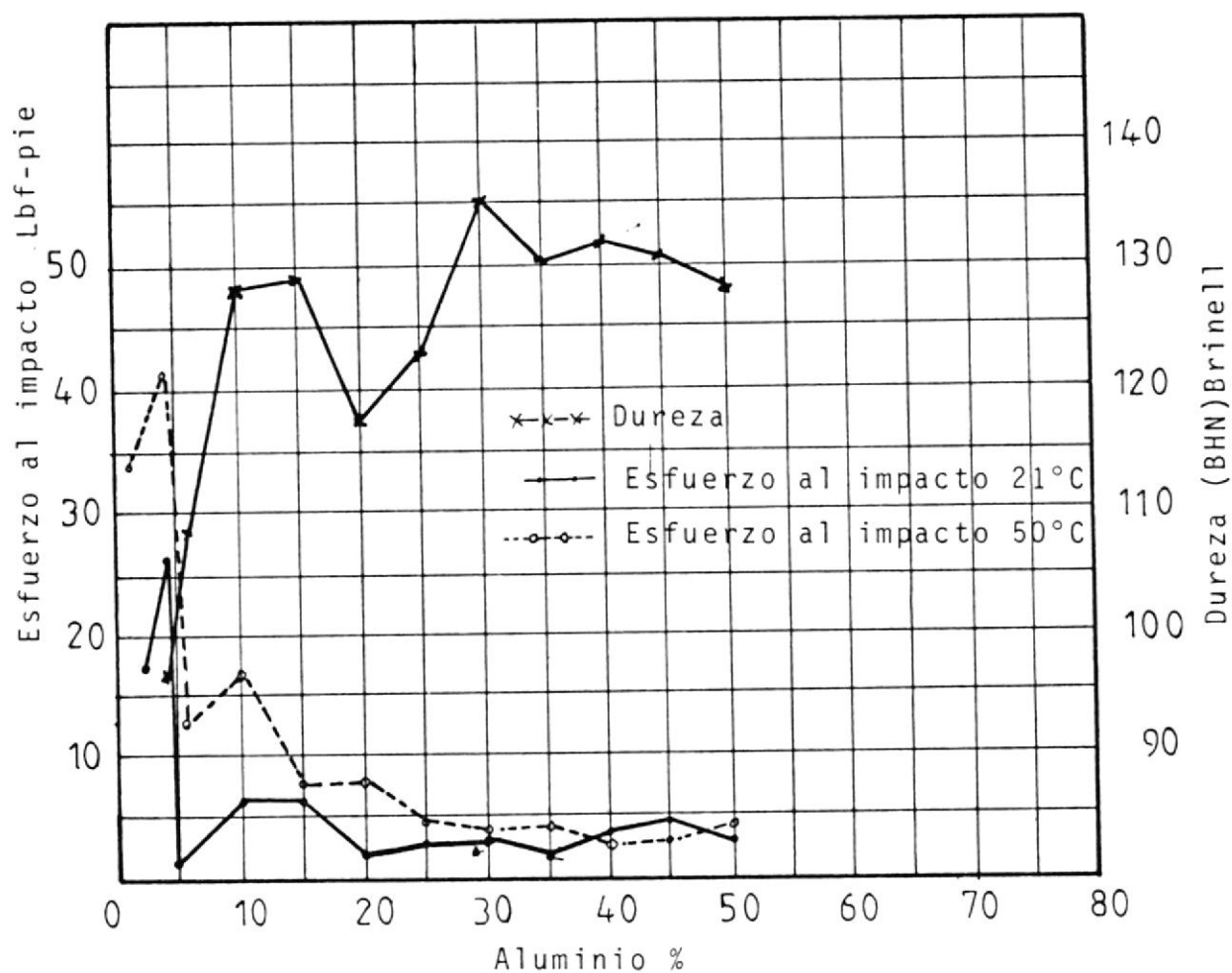


Figura N° 11

Resultados de pruebas mecánicas sobre aleaciones
Zn-Al conteniendo cantidades variables de aluminio

0.35% de aluminio en la solución en un proceso de inyección recién realizado, colocadas las piezas obtenidas en un cuarto caliente o a temperatura levemente elevada durante unas cinco (5) semanas, después de este período el contenido de aluminio puede decrecer hasta cerca de 0.05%, el exceso aparece como diminutas partículas de alfa dentro de la estructura beta, más aluminio puede ser precipitado en muy corto tiempo si elevamos nuevamente la temperatura, similares efectos son observados en aleaciones que contienen cobre, el cual es adicionado para incrementar la resistencia al esfuerzo y dureza. Adiciones de cobre arriba del 1.5% para producciones por el proceso de inyección se obtienen piezas con razonables propiedades y dimensiones.

Recientemente se están analizando aleaciones para forjado basadas sobre la composición eutectoide 78% Zinc y 22% aluminio tienen un interés comercial a causa de sus propiedades superplásticas, las microestructuras desarrolladas en estas aleaciones dependen del tratamiento térmico utilizado.

Las propiedades del zinc y sus aleaciones son muy sensibles a la temperatura, como se puede apreciar en la Figura 11, con relación a la resistencia al impacto y

dureza de estas aleaciones con respecto a la temperatura, otro comportamiento característico lo determina la resistencia mecánica la cual disminuye con rapidez al aumentar la temperatura y este factor se debe tener en cuenta al diseñar artículos que hayan de soportar cargas continuas a cierta temperatura.

La ductilidad y las características generales para la fabricación aumentan con la temperatura. No se debe intentar operaciones de conformado, embutido o estirado en tiras o láminas de zinc a menos de 21°C (70°F), las operaciones más severas se pueden efectuar con más facilidad a temperatura un poco más altas (hasta 52°C) (125°F). El zinc y sus aleaciones se vuelve un tanto frágiles a menos de la gama de -18°C a 0°C (0° a 32°F), según la composición particular, pero recuperan sus propiedades normales al volver a la temperatura ambiente.

Incluso a baja temperatura, las aleaciones fundidas a presión tienen resistencia superior al impacto, que es superior a la del hierro normal.

Efecto de la cocción al horno sobre las propiedades

Las aleaciones Zamak a menudo son esmaltadas al horno con el fin de decoración o de protección y parece útil conocer el efecto que este tratamiento ejerce sobre las propiedades mecánicas de las piezas vaciadas bajo presión en aleaciones de zinc, en razón de las transformaciones posibles al estado sólido, las combinaciones temperatura -duración de cocción- recomendadas son las siguientes:

0.5 h - 218°C

1.0 h - 190°C

2.0 h - 163°C

3.0 h - 150°C

Se ha determinado las propiedades mecánicas de probetas en Zamak-3 (AG40A) que no habían sufrido cocción y se las comparó con las probetas que habían sufrido cocción inmediatamente después de cocción y después de un envejecimiento prolongado, y eso, para las cuatro combinaciones indicadas anteriormente. Los resultados son recapitulados en la Tabla I.

De los resultados de dichas pruebas se puede observar

que las propiedades mecánicas de las aleaciones de Zn-Al para procesos de inyección no son seriamente modificadas.

1.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LA ALEACION Zn-Al (ZAMAK) DE ACUERDO AL METODO DE MOLDEO

Las aleaciones de Zn-Al para proceso de inyección conocidas con el nombre genérico de Zamak, tienen además aplicación para procesos de colado por gravedad, por lo que se considera importante conocer las propiedades mecánicas de esta aleación de acuerdo al método de colado utilizado.

1.2.1 Inyección

El mayor uso del zinc como material estructural es en aleaciones para inyección a presión, el desarrollo de modernas aleaciones para inyección fue directamente relacionado por el uso de zinc de grado especial alto (99.99 + %Zn), la adición de los elementos aleantes debe mantenerse dentro de ciertos límites y controlar las impurezas, asegurando el bajo contenido de hierro, plomo, cadmio y estaño, solo efectuando estos

TABLA I

P R O B E T A S		(a) Kg/mm ²	(b) % en 2"	(c) Kg-m	(d) mm/mm
Enseguida después de la cocción	A	27.7	13.1	5.36	+0.00005
	B	28.0	9.5	5.32	+0.00008
	C	26.9	17.2	5.20	+0.00006
	D	26.6	18.6	5.53	+0.00010
Sin cocción	E	28.5	14.6	4.95	nada
Dos años después de la Cocción	A	25.8	20.0	4.92	-0.00029
	B	25.5	21.3	4.95	-0.00038
	C	25.2	25.6	5.25	-0.00029
	D	25.2	20.1	4.65	-0.00031
	E	26.1	23.3	5.25	-0.00019
Cinco años después de la cocción	A	25.2	29.5	4.51	-0.00020
	B	24.9	26.2	5.30	-0.00030
	C	24.7	25.0	5.42	-0.00019
	D	24.7	25.4	4.81	-0.00024
	E	25.7	23.8	5.13	-0.00021
Condiciones de Cocción		Tipos de Ensayo			
A .. 218°C - 0.5 h		(a) Carga de ruptura			
B .. 190°C - 1.0 h		(b) Alargamiento			
C .. 163°C - 2.0 h		(c) Resistencia al choque			
D .. 150°C - 3.0 h		(d) Modificación dimensional			
E .. Sin cocción					

EFFECTO DE COCCION EN LAS PROPIEDADES MECANICAS
DE LA ALEACION ZAMAK-3

controles podemos obtener piezas inyectadas con propiedades y dimensiones estables.

Las aleaciones para inyección Zamak que actualmente se usan son identificadas en normas americanas con las designaciones ASTM AG40A y ASTM AC41A y respectivamente SAE 903 y SAE 925, estas aleaciones cumplen los requerimientos para un buen metal para un proceso de inyección.

Estas aleaciones contienen cerca de 4% de aluminio y 0.04% de magnesio; la aleación AG40A es esencialmente libre de cobre; AC41A contiene aproximadamente 1% de cobre, la aleación AG40A es más popular, posee mayor ductilidad y retiene mejor el esfuerzo al impacto a temperatura elevada que la aleación AC41A, aunque esta última es algo más dura y resistente a la tracción y tiene ligeramente mejor moldeabilidad.

Las composiciones químicas de las aleaciones están ubicadas en la Tabla II y las propiedades de uso de ingeniería se encuentran en la Tabla III.

1.2.2 Gravedad

Es interesante anotar que el método de moldeo usando molde metálico y colado a gravedad provee al material propiedades y acabado un poco inferiores y se prefiere utilizarlo en piezas de mayor peso y en series de menores cantidades ya que la operación manual limita la producción, por esta razón ha quedado en desuso en países desarrollados.

Se ubican en esta parte propiedades que resultan de este proceso de moldeo en arena, ya que se considera que puede ser de aplicación en nuestro medio, dado que por algún tiempo van a estar cerradas las importaciones y no va a ser factible realizar nuevas adquisiciones de maquinaria.

Las propiedades de la aleación para este proceso se encuentran detalladas en la Tabla IV.

1.3 EFFECTO DE ELEMENTOS DE ALEACION, PROPOSITO ESPECIAL Y EXTRAÑOS EN LA ALEACION

Históricamente se ha constatado que las aleaciones de

TABLA II

E L E M E N T O	Composición %	
	AG40A	AC41-A
Aluminio	3.5 - 4.3	3.5 - 4.3
Cobre	< 0.25	0.75 - 1.25
Magnesio	0.02 - 0.05	0.03 - 0.08
Hierro	< 0.10	< 0.10
Plomo	< 0.005	< 0.005
Cadmio	< 0.004	< 0.004
Estaño	< 0.003	< 0.003
Zinc	Resto	Resto

COMPOSICION QUIMICA DE LAS ALEACIONES Zn-Al (ZAMAK)
PARA FUNDICION A PRESION

TABLA III

PROPIEDADES	Aleación AG40A	Aleación AC41A
Resistencia a la Tracción Kg/mm ²	28.8	33.4
Alargamiento %, en 50 mm	10	7
Dureza Brinell 500, 10, 30 seg.	82	91
Resistencia a la compresión Kg/mm ²	42	61
Temperatura de fusión °C	386.6	386.1
Temperatura de solidificación °C	380.6	380.4
Peso específico Kg/dm ³	6.6	6.6
Impacto Charpy Kg-m	6.07	6.78

PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES A BASE DE ZINC

PARA FUNDICIONES A PRESION.

(ALEACIONES ZAMAK)

TABLA IV

PROPIEDADES MECANICAS	ALEACION AG40A	ALEACION AC41A
Resistencia a la Tracción Kg/mm ²	14-21.1	14-21.1
Elongación %, en 50 mm	---	---
Dureza Brinell 500, 10, 30 seg.	70-100	70-100
Impacto Charpy Kg-m	---	---

PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES Zn-Al(ALEACIONES ZAMAK) FUNDIDAS PORGRAVEDAD EN ARENAS

zinc poseían una deficiencia metalúrgica al ser susceptibles a una corrosión intergranular, de graves consecuencias en el deterioro del material.

El zinc aleado presentaba un problema para el proceso de inyección ya que atacaba el acero, material del que estaban contruidos los pistones, al adicionar aluminio al zinc se logró reducir la velocidad del ataque del acero por parte del zinc, consiguiendo al mismo tiempo mejorar las propiedades mecánicas, tales como aumento de la resistencia al choque, aumento de la resistencia al ruptura, aumento de la dureza, mejoró la colabilidad.

El hecho de alear el zinc con el aluminio trae además de las ventajas descritas, una sensibilidad a la corrosión intercrystalina y plantea la exigencia de una manipulación extremadamente meticulosa de la aleación del zinc en fundición bajo presión si se quiere prevenir contra este fenómeno desastroso.

BRUER y PEIRCE atribuían las dificultades ini -

ciales probadas con las aleaciones de zinc para fundición bajo presión, a una corrosión concentrada a lo largo de la fina red de los límites de grano que presenta una pieza fundida a presión. Estos autores demostraron que las impurezas Plomo, Cadmio, Estaño eran potentes factores de esa corrosión, y que se producía sólo en presencia de la humedad y que se encontraba acelerada fuertemente en una atmósfera de vapor.

Constataron que el tenor de cobre (hasta 5%) ejercía un efecto inhibitor favorable sobre la corrosión intercrystalina. Se debía descubrir más tarde que, con esa relación, el magnesio era aún más potente que el cobre.

Otro estudio realizado por LOHBERG, mostró que el Talio y el Bismuto en las aleaciones de zinc para fundiciones bajo presión eran agentes contaminantes nocivos; más reciente, los Canadienses BELL, EDMUNDS y MEIER constataron que la presencia de Indio era fuertemente perjudicial.

BRAUER y PEIRCE habían llegado a la conclusión que la fase exagonal rica en zinc se corroía

preferentemente. En cambio, LOHBERG afirmaba, en base a su examen del producto de corrosión, que la fase rica en aluminio era la causa. El trabajo más reciente en ese campo es el de ROBERTS que mostró que una aleación teniendo una sola fase única en zinc puede ser llevado a presentar una corrosión intercrystalina incluso si es practicamente exenta de impurezas.

Se estima generalmente que la corrosión inter - cristalina es un fenómeno electroquímico, las impurezas nocivas como el plomo, cadmio y estaño volviendo los límites de granos catódicos. Se sabe que el plomo es muy poco soluble en el zinc sólido. El estaño probablemente es también muy poco soluble, juzgando eso por el hecho que provoca una fragilidad en caliente en las aleaciones de fundición bajo presión. También el cadmio tendría, según LUMSDEN, una solubilidad muy débil, del orden de 0.004% a 0°C. El comportamiento del Talio y del Indio bajo esa relación es menos cierta.

Sin embargo, que haya o no segregación de las impurezas nocivas a los límites de granos, la

teoría electroquímica no puede explicar satisfactoriamente porque la presencia de aluminio en el zinc es tan necesaria para favorecer la corrosión intercrystalina.

Hubo un tiempo que se estimaba que la corrosión intercrystalina era relacionada, de cierta manera, con la transformación eutectoidal. Esta teoría parecía confirmarse por el hecho que los inhibidores de corrosión -el cobre y el magnesio- tienen como efecto retardar igualmente la transformación eutectoidal y que, en los dos casos, el efecto del magnesio es más fuerte.

El trabajo de ROBERTS pone seriamente en duda la conformidad en derecho de la teoría electroquímica, confirma la opinión de BRAUER y PEIERCE, según la cual la fase rica en zinc estaría en causa. ROBERTS emite, sobre el mecanismo de la corrosión intercrystalina, una hipótesis según la cual los átomos de zinc serían oxidados catalíticamente en presencia de los átomos de aluminio, relativamente muy reactivos, quienes, después de su precipitación de la solución sólida, tienden a dirigirse hacia los límites de granos.

El agregar cobre como elemento inhibidor de la corrosión intercrystalina, causa otro problema y es relacionado con una marcada inestabilidad dimensional. En varios ensayos realizados con zinc extra puro (99.99% Zn), se pudo pasar sin cobre como elemento inhibidor de la corrosión intercrystalina, dando una aleación mucho más estable dimensionalmente.

Estudiando la solución hexagonal rica en zinc de la aleación para fundición bajo presión exenta de cobre y se pudo deducir que, en esta aleación el efecto de la transformación eutectoidal era débil y que la contracción se debía principalmente a la precipitación del aluminio de su solución sólida en la fase hexagonal rica en zinc.

Aluminio

El agregado de aluminio tiene como efecto, mejorar la textura de la pieza fundida y la fluidez de la aleación. Aumenta además la resistencia y la dureza.

El efecto más importante del aluminio consiste en que este metal reduce considerablemente la fuerza de ataque de la aleación sobre el metal permanente, sobre la matriz y las partes férreas con las cuales el metal líquido entra en contacto. Así se evita que la aleación, al disolver estas partes férreas, incremente su contenido de hierro por encima del mínimo admisible.

Por otro lado, una proporción demasiado alta de aluminio afecta seriamente la resistencia al impacto de la aleación. La disminución de la misma empieza al sobrepasar el aluminio la proporción del 4.5%. Si ésta alcanza al 5%, la aleación se pone ya algo quebradiza.

Cobre

El contenido de cobre tiene como fin aumentar la resistencia y la dureza de la aleación. Aumenta, además, su resistencia a la corrosión, pero reduce la estabilidad en las medidas y propiedades de la aleación, de modo similar al aluminio.

Magnesio

Si no se toman las precauciones necesarias en la elección de los metales aleantes, se producen, en piezas fundidas de aleaciones de zinc, grandes variaciones de medida después de transcurrido un cierto tiempo. El empleo de materias primas puras aumenta la estabilidad de las piezas fundidas. La adición de un porcentaje pequeño de magnesio tiene este mismo fin.

En efecto, ya que algunos pocos centésimos por ciento son suficientes para mejorar la resistencia a la corrosión intercristalina, neutralizando los efectos nocivos del cadmio y plomo. Además, el magnesio aumenta la dureza.

Por otro lado, un contenido mayor del magnesio reduce la fluidez de la aleación, haciendo más difícil su colada.

Como las aleaciones de zinc fabricadas en la actualidad son de una calidad elevada, con un contenido mínimo de impurezas, es suficiente añadir

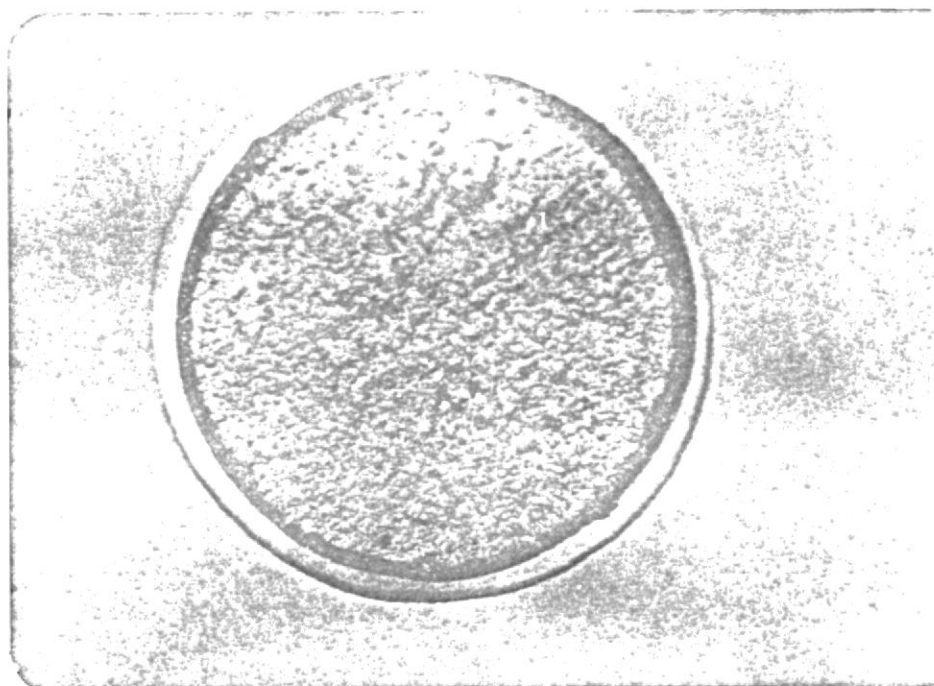
cantidades pequeñísimas de magnesio para impedir la corrosión intercrystalina.

La presencia conjunta de un porcentaje relativamente alto de aluminio y de estaño en una aleación, donde el zinc predomina, tiene efectos muy perjudiciales. Ya que un contenido de solo ... 0.001% de estaño puede provocar corrosiones intercrystalinas.

1.4 ESTUDIO DE MATERIALES APROVECHABLES PARA FABRICACION DE LA ALEACION Zn-Al

Zinc

El Zinc, uno de los metales no ferrosos menos costosos, se produce a partir de sus minerales, sulfuro, silicato o carbonato, por un proceso que comprende concentración y tostación, seguido ya sea por la reducción del mineral de zinc por carbón y destilación simultánea del zinc en hornos y retortas continuas o por lixiviación del óxido con ácido sulfúrico y electrólisis de la solución después de purificarla. El zinc destilado contiene impurezas (principalmente Pb, Cd, Fe) que pueden eliminarse por redestilación fraccionaria para

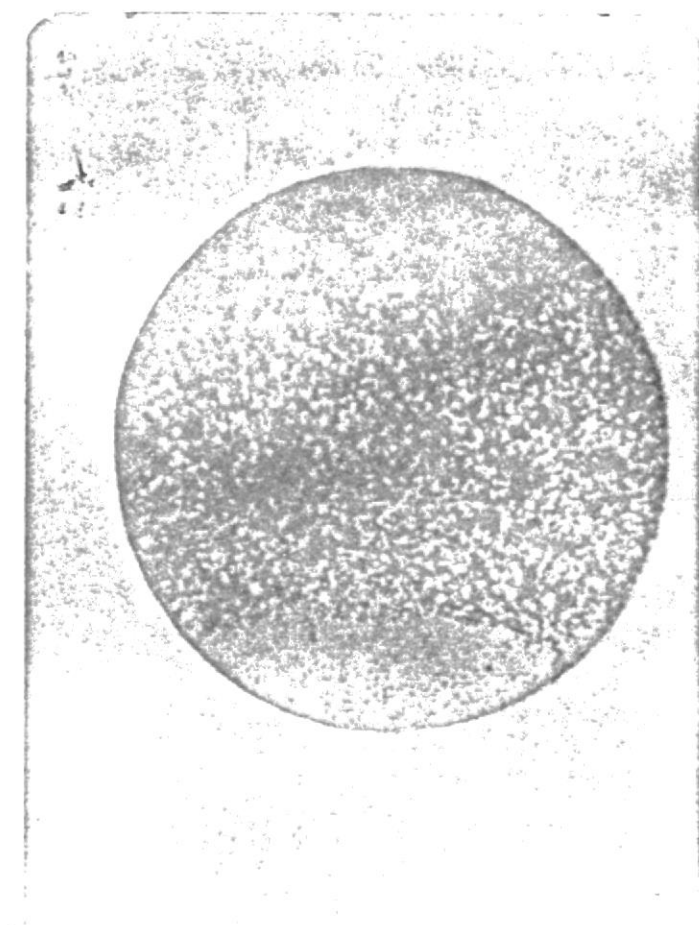


No pulida, no atacada

6 X

Figura N° 12

Fractura superficial de una barra de ϕ 3/8 pulg de diámetro, al final de una prueba de tensión efectuada en una barra inyectada de aleación AG40A para lo cual se adicionó 0.018% Pb, (0.005% es permitido), y expuesto 10 días a una corriente de vapor a 95°C (203°F), el anillo oscuro en la periferia es corrosión intergranular.



Pulida, no atacada

100 X

Figura N° 13

Microfotografía del borde de la fractura superficial, Foto 12, corrosión intergranular subsuperficial que causa decrecimiento de las propiedades mecánicas, deliberadamente se adicionó 0.018% Pb para contaminar la aleación.

producir zinc de 99.99% o más de pureza. Puede producirse metal de igual pureza por el proceso electrolítico. El zinc llega al mercado en formas de planchas de 25.4 a 38.1 mm (1 a 1.5 pulg) de espesor de 210 a 254 mm (8.5 a 10 pulg) de ancho y de 475 a 508 mm (18 a 20 pulg) de longitud. En esta forma se llama con frecuencia Zn comercial o Spelter.

Los grados o tipos importantes de zinc, disponibles en Estados Unidos están incluidos en la especificación ASTM B6.

El zinc especial de alta calidad se utiliza en la manufactura de piezas fundidas a presión, en que las impurezas tienen un efecto muy perjudicial sobre la resistencia a la corrosión y la estabilidad dimensional. El galvanizado (que consume la máxima proporción del zinc) utiliza en forma principal el Zinc "Flor del Oeste", pero se emplean grandes tonelajes de zinc de alto grado en las instalaciones de galvanizado continuo. Todos los tipos se utilizan para productos laminados de zinc, ya que la presencia de impurezas suele ser deseable por su efecto reforzador de la resistencia mecánica. Para la fabricación de latón y otras aleaciones, hay una tendencia creciente hacia el uso de los tipos de

zinc de alta calidad.

Zinc laminado en forma de hojas, tiras o planchas de diferente espesor, tiene un amplio uso. Por lo general, se utiliza el zinc comercial en tochos. Se produce por laminado en caliente, salvo que se requiera rigidez y revenido o temple, en cuyo caso una o más de las pasadas para acabado se hacen en frío. Los tipos más blandos y puros de zinc se utilizan para operaciones de embutido profundo o de conformado; el metal menos puro se utiliza para tiras a la intemperie, cubiertas (techados) y otras aplicaciones en donde se necesita cierta rigidez o donde se desean propiedades químicas específicas; por ejemplo, en las planchas para fotograbadoras.

Casi todo el zinc laminado se produce según las especificaciones del cliente (Véase ASTM B69). La reproducción de las características se obtienen con un cuidadoso control de la composición para laminado y con la aplicación de pruebas de control, como la ductilidad dinámica, revenido, dureza y doblado dinámico. Los datos fundamentales para el proyecto estructural pueden obtenerse con pruebas de escurrimiento plástico a la temperatura ambiente. El zinc no debe usarse en

aplicaciones sometidas a altos esfuerzos continuos.

Aluminio

El aluminio se obtiene por medio de un proceso electrolítico de la alúmina, a su vez, se halla en una gran cantidad de minerales: (caolín, leucita, laterita, etc.); el más importante, desde el punto de vista industrial, es la bauxita, la cual contiene la alúmina en una proporción del 50 al 60%, y además, óxido de hierro (Fe_2O_3) y sílice (SiO_2).

La separación de la alúmina pura de la bauxita se efectúa mediante procedimientos químicos y mecánicos, obteniéndose primero el hidrato de alúmina ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), el cual luego es filtrado y calcinado en hornos rotativos, consiguiéndose finalmente la alúmina en forma de un polvo blanco.

El proceso electrolítico para la separación de aluminio fue descubierto hace apenas setenta años y no obstante este período corto, la producción de aluminio se encuentra en el segundo lugar entre los metales no ferreos, en lo que a tonelaje se refiere, y en primer lugar en lo que se refiere a volumen.

El metal comercialmente utilizado tiene una proporción de, aproximadamente, 1% de impurezas, que consisten en hierro, silicio, y a veces cobre. Sin embargo, se han desarrollado procedimientos electrolíticos que permiten la obtención del aluminio de super-pureza, o sea, de un metal con una pureza de más del 99,99 %.

Es un metal blanco, parecido a la plata, cuyo peso específico, muy inferior al de los demás metales, es 2,64 y funde a 650°C. Es dúctil y maleable, pero más fácilmente alrededor de los 100°C. Su temperatura de volatilización, muy elevada, es superior a 2200°C, su resistencia a la ruptura es de 7 kilos por milímetro cuadrado, aproximadamente, aumentando ésta por laminado y estirado, su conductibilidad calorífica viene a ser el 36% de la de la plata, y la eléctrica es inmediatamente inferior a la de aquel metal.

En la industria de la fundición de aluminio se emplean casi únicamente aleaciones de este metal. Esto tiene su explicación en el hecho de que tanto las propiedades mecánicas como las específicas para la fundición, son más elevadas en la fundición de aluminio que en el metal puro. Aunque su resistencia a la corrosión del aluminio puro es muy grande, esta propiedad no es su -

ficiente para compensar las desventajas y dificultades que se presentan en la fundición del metal puro.

Una de las aleaciones de aluminio más conocidas es el 1100 que contiene entre 99,7 y 99,9% de aluminio, siendo el hierro y el silicio las impurezas principales.

El empleo de esta aleación en la fabricación de utensilios de cocina, peines, botones, cepillos, dedales, aparatos de tostar, coladores, etc.

Poco después de su aplicación en gran escala a la fabricación de utensilios de cocina, se empezó a emplear extensamente en la fabricación de alambres conductores de la electricidad. En la actualidad se han producido más de dos millones de kilómetros de cable de aluminio reforzado con acero, y hoy más del 90% de los cables conductores empleados en las líneas de alto voltaje de Estados Unidos se fabrican de esta aleación.

Magnesio

Mientras que el aluminio se obtiene, en la actualidad, industrialmente de un solo mineral, y mediante un pro-

ceso único (electrolítico) el magnesio se encuentra en formas muy diversas, obteniéndose por procesos diferentes.

Los minerales principales que contienen magnesio son los siguientes:

Magnesita	CO_3Mg
Dolomita	$\text{CO}_3\text{Mg} \cdot \text{CO}_3\text{Ca}$
Serpentina	
Carnalita	

Además, se encuentra el magnesio en el agua salada y en el agua de mar una proporción de 0.13%.

El problema principal en la obtención de magnesio radica en las fuertes afinidades químicas de este elemento, necesitándose para su aislación gran cantidad de energía.

Actualmente se desarrollan para su obtención dos procesos electrolíticos (proceso DOW y proceso M.E.I.) y dos procedimientos que se basan en la reducción térmica del óxido de magnesio (proceso carbo-térmico y proceso del ferrosilicio).

El magnesio empleado generalmente tiene una pureza del 99.7%, pero puede obtenerse químicamente puro.

El magnesio es el más liviano de todos los metales de importancia industrial: tiene un peso específico de sólo 1.74 Kg/dm^3 , lo que representa las dos terceras partes del peso del aluminio y una cuarta parte del peso del acero. Se funde a 650°C y tiene un aspecto semejante al aluminio. Posee una estructura cristalina exagonal similar a la estructura del zinc. Se rompe con facilidad al presionarlo en un sentido determinado, la resistencia a la tracción es de 17.5 Kg/mm^2 , - aproximadamente, con un alargamiento del 6%, su dureza Brinell es de 30, la conductibilidad eléctrica del magnesio es baja: sólo el 38.6% de la del cobre, y el 65% de la del aluminio, en peso iguales, el magnesio presenta casi el doble de la resistencia eléctrica del cobre, y una cuarta parte más que la del aluminio, su conductibilidad térmica es igualmente baja: sólo el 44.4% de la del cobre y el 79% de la del aluminio.

El magnesio arde con luz blanca originando una

temperatura alta (unos 1750°C). De aquí su aplicación como producto pirotécnico en la fotografía, y su utilización importante durante la última guerra para señales y balas luminosas, proyectiles trazadores, bombas incendiarias, etc.

El magnesio opone escasa resistencia a la corrosión, es atacado por la mayoría de los ácidos, - por el agua salada y soluciones de cloruro de sodio en general, siendo, sin embargo, resistente a los álcalis. Se emplea en muchos procesos metalúrgicos no ferrosos como desoxidante y depurador, por su gran afinidad con el oxígeno; por ejemplo, para las aleaciones de níquel, para eliminar el bismuto de plomo, etc.

El magnesio puro no es adecuado para la fundición, debido a sus inferiores propiedades físicas. Mediante una adecuada aleación, se consigue mejorar las propiedades mecánicas o físicas del magnesio, de tal manera que hoy en día es un material importante para la construcción, y, en particular, para la fundición.

Las piezas fundidas de aleaciones de magnesio

son estables; sus buenas propiedades mecánicas - motivan que el 85% de las aleaciones de magnesio como material de construcción sea justamente en forma de piezas fundidas. La alta fluidez permite la colada de piezas con paredes finas y de diseños complicados.

Uno de los mayores inconvenientes de las aleaciones de magnesio es su escasa resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes húmedos. Para evitar la corrosión, se someten las piezas fundidas a un tratamiento químico de protección, las películas obtenidas mediante estos procesos impiden una corrosión y sirven, además, como fondo para determinados recubrimientos orgánicos.

Cobre

La mena de cobre más importante es el cobre piritoso o calcopirita (S_2FeCu). De este mineral se consigue actualmente la mayor cantidad de cobre que se produce.

Otros minerales de cobre son los siguientes:

Cobre Sulfuroso (Cu_2S)

Oxido rojo (Cu_2O)

Malaquita ($\text{CuCO}_3 + \text{Cu(OH)}_2$)

Por una serie de procesos mecánicos y químicos se extrae el cobre de estos minerales, obteniéndose primero el cobre bruto, que contiene todavía una cantidad de cuerpos extraños, como son: hierro, plomo, zinc, cobalto, antimonio, etc. Luego, mediante un proceso de refinación electrolítica, se obtiene cobre de una pureza de 99.98%.

El cobre tiene un peso específico de 8.90 Kg/dm^3 cuando está puro, el cobre ordinario comercializado tiene un peso específico de sólo 8.3 a 8.5 Kg/dm^3 . Se funde aproximadamente a 1083°C , hierve a los 2325°C , el calor latente de fusión es de 43.3 calorías.

El cobre tiene un color rojizo y éste puede ser modificado mediante metales aleantes, a colores de oro, amarillo, o de plata, cristaliza en el sistema regular.

Las propiedades físicas del cobre varían mucho

según las operaciones a que es sometido, el cobre fundido posee una resistencia a la tracción de 15.5 a 17.5 Kg/mm², con un alargamiento del 40% al 50%, y una ligera dureza Brinell de 30 a 40, laminándolo, trefilándolo o trabajándolo por otros medios mecánicos, se puede aumentar la resistencia a la tracción hasta unos 28 Kg/mm², al mismo tiempo se incrementa la dureza y se reduce el alargamiento específico.

El cobre comercial contiene cuerpos extraños que alteran las propiedades del mismo, estas impurezas las constituyen el hierro, el estaño, el zinc, el plomo, el bismuto, el arsénico, el fósforo y el antimonio. El estaño disminuye la ductilidad, el zinc reduce la maleabilidad en caliente, el bismuto es admitido sólo hasta 0.01%, porque hace quebradizo al cobre.

Las propiedades más importantes del cobre, desde el punto de vista industrial, es su excelente conductibilidad eléctrica: ésta es casi dos veces más grande que la de cualquier otro metal, sin embargo, aún pequeñas impurezas reducen considerablemente esta propiedad, así mismo es un

buen conductor del calor.

El cobre tiene una gran resistencia a la corrosión en aire seco, pero se recubre, en una atmósfera húmeda, de una capa de carbonato básico, está patina de color verde oscuro protege al metal por tiempo indefinido.

Forma solución sólida con la mayoría de los elementos comunes, tiene gran afinidad con el azufre, el óxido se disuelve también en el cobre, combinándose con el mismo para formar óxido cuproso (Cu_2O), para desoxidarlo se usa fósforo, silicio, magnesio u otros desoxidantes.

El ácido nítrico, el ácido sulfúrico en estado de ebullición, y el agua regia, disuelven el cobre.

A causa de sus propiedades tiene una aplicación muy vasta en la industria eléctrica. Además, debido a su buena compatibilidad térmica, se usa para la construcción de radiadores, tubos de refrigerantes, tuberías de vapor y de agua, etc. Por su resistencia a la corrosión, se emplea -

con mucha frecuencia en las industrias químicas y de alimentación.

El cobre puro (más del 99%), o sea el cobre electrolítico, llamado también "cobre de alta conductibilidad", sólo raras veces es utilizado por la industria de fundición, no sólo es demasiado blando, sino que su transformación en piezas de uso industrial mediante la colada presenta muchas dificultades: en efecto, durante la solidificación en los moldes de arena, que ocurre muy despacio, se forman cavidades en las piezas fundidas, a causa de la absorción del oxígeno por el metal en estado de fusión, y su ulterior desprendimiento al solidificarse ; para evitar la formación de éstos poros se podría agregar al cobre en estado de fusión un elemento desoxidante por ejemplo, el fósforo ; sin embargo, como veremos más adelante, si se añade un elemento al cobre puro, se disminuye considerablemente su conductibilidad eléctrica, esto es: se destruye la principal propiedad para la utilización del cobre puro.

1.5 MÉTODOS DE FABRICACION DE LA ALEACION Zn-Al

Para el objeto de este trabajo se han seleccionado dos métodos de fabricación de la aleación Zn-Al que son; por medio de aleación madre y por reciclaje de chata - rra que a continuación se detallan:

1.5.1 Por medio de aleaciones madre

La preparación de las aleaciones binarias, por introducción directa de un metal sólido en el zinc líquido, no es conveniente sino en el caso en que se verifique la condición de que el punto de fusión del metal a ligar sea inferior al del zinc. En los demás, que son los más numerosos, se recurre al empleo de aleaciones intermedias; las aleaciones madres. Según este principio, se pueden unir directamente con el zinc líquido.

En lo posible, las aleaciones madre preferibles económicamente deberán ser las que contengan la mayor cantidad de elemento de adición, pero con la condición de que la temperatura de fusión resultante sea razonablemente baja, las licuacio -

nes mínimas y la estabilidad suficiente, estas condiciones raramente se consiguen; la mayoría de las veces, se resuelve sacrificando la primera condición en beneficio de las demás, técnica y tecnológicamente más importantes.

En general, no se emplean, en fundición, nada más que las aleaciones binarias; las más complicadas representan, sin duda alguna, una excepción, enteramente justificable. El empleo de aleaciones madre polinarias, podría resultar en realidad cómodo para aquellas fundiciones que no poseen laboratorio de análisis: sin embargo, es evidente que sólo la certeza de una absoluta constancia de composición podría hacer tolerable su uso.

Las características a las cuales debería responder una buena aleación madre de zinc, puede ser descrita como sigue:

- a) Fusibilidad el punto de fusión no debería ser muy alto, en general son preferibles las aleaciones madre del tipo eutéctico con bajo punto de fusión.

b) Fragilidad la necesidad de tener que dosificar cuidadosamente el elemento de adición contenido en las aleaciones madre, comporta consecuentemente la rotura de las distintas cargas en pequeños fragmentos, para la exacta corrección del peso. Una aleación madre frágil simplifica considerablemente este trabajo, por otro lado muy laborioso y oneroso. La aleación madre debe ser frágil pero no friable, para evitar la producción excesiva de astillas y polvo, difícilmente utilizables.

c) Homogeneidad muchas aleaciones madre a las que es necesario recurrir a falta de mejores, presentan un amplio intervalo de solidificación, dentro del cual una sola de las fases, generalmente un compuesto intermetálico está presente al estado sólido. Dado el diferente peso específico de las dos fases, es muy fácil que se produzcan sedimentaciones del constituyente sólido más pesado, con la consiguiente heterogeneidad del lingote o pan. Para subsanar este grave inconveniente, las aleaciones madre deben ser coladas en lingoteras especiales de modo que se obtengan panes muy delgados (aproximada-

mente 10-15 mm) y sobre todo anchos y largos, y por consiguiente rápidamente solidificados. Además es necesario agitar enérgicamente el baño líquido en el crisol, inmediatamente antes de la colada, mediante una barra de grafito o de hierro grafitado, para evitar las sedimentaciones prematuras.

d) Concentración el costo de preparación, a veces muy elevado, de algunas aleaciones madre, hace aconsejable, como norma, la concentración máxima posible del elemento añadido. Sin embargo, las conocidas dificultades técnicas hacen que se prefiera generalmente el empleo de aleaciones madre de baja o mediana concentración. Aproximadamente la concentración (N) del elemento añadido debería estar comprendida entre los límites:

$$3 n \leq N \leq 10 n$$

respecto al contenido (n) a añadir a la aleación acabada. Deseando, por ejemplo, preparar una aleación con un 4% Al es conveniente que la relativa aleación madre no contenga menos de 12% Al, ni más de 40% Al.

Uno de los errores más graves que se pueden cometer en la preparación de las aleaciones madre es el de colarlas en lingotes o panes grandes. Enfriando en una lingotera, la aleación tiende de hecho a dar licuaciones y segregaciones; no tiene sentido la objeción de que, en general, para las cargas es utilizado el lingote entero, trocearlo o dividirlo. Los errores se cometen durante el análisis, dada la dificultad de obtener una muestra media de un material heterogéneo. Se consigue una excesiva latitud en los resultados, y la posibilidad de encontrar importantes variaciones en la composición final, cuya causa puede parecer un tanto oscura cuando es en efecto natural e inmediata.

Las aleaciones madre deben por tanto, enfriarse como ya hemos dicho, en lingoteras bajas y anchas, formando pastillas para la rotura, tal como se usan desde hace tiempo para las aleaciones cobre-fósforo o cobre-manganeso.

Muchas fundiciones se preocupan, a veces excesivamente, de la precisión de la composición efectiva de la aleación madre para que corresponda a

la teórica; esta condición podría preocupar a un productor de aleaciones madre comerciales, pero en la práctica no hay ninguna necesidad de disponer de composiciones escrupulosamente exactas, cuya producción sería más cara, por el cuidado necesario para prepararlas, sin contrapartida de ventajas reales. La adición de aleaciones madre son realizadas en base a las unidades de M efectivamente contenidas en ellas, y una variación del 2 ó 3% sobre lo teórico sólo complica, si es conocido, el cálculo de las cargas y aún de una manera absolutamente elemental.

1.5.2 Por reciclaje de Chatarra

En nuestro País no existen minas de las que podamos explotar minerales de Zinc o de Aluminio lo que nos suministraría metales puros de zinc y aluminio, empleando los diferentes procesos de refinación que existen, con lo cual obtendríamos las materias primas para la elaboración de la aleación Zn-Al para proceso de inyección conocida como Zamak, al mismo tiempo las severas regulaciones implantadas por el Gobierno impide que estos materiales sean importados con

el consecuente problema que causaría a las empresas dedicadas a procesar esta aleación porque tendrían que disminuir sus operaciones. Razón por la cual uno de los procesos viables para la obtención de las aleaciones Zamak sería la de reciclar chatarra de zinc y aluminio, y aún más chatarra de las mismas aleaciones del proceso de inyección aunque esta cantidad es mínima, en nuestro País la chatarra de zinc y aluminio existen en suficientes cantidades, siendo el objeto de esta tesis de grado el de reciclar chatarras que contengan materiales de zinc y aluminio para la obtención de aleaciones Zamak con propiedades mecánicas de acuerdo a las normas, se detalla a continuación los tipos de chatarra a utilizar en este trabajo.

La chatarra de Zn a utilizarse proviene de los residuos de los ánodos de sacrificio utilizados para la protección galvánica en los buques con casco de acero. El tipo de zinc presente en esta chatarra es zinc electrolítico cuya composición química se detalla a continuación:

Zn 99.99%

Pb 0.006% máx

Fe 0.005% máx

Cd 0.004% máx.

Siendo la cantidad de impurezas menor al 0.01% de tal manera que la suma de porcentajes de Pb + Fe + Cd es menor al 0.01.

El aluminio a utilizar proviene de los residuos de rollos de conductores eléctricos que están formados por la aleación de aluminio 1100 que corresponde a un número ASTM B184, B209, B211, B221, B247, B285, B307, B313, B316 y otra designación es SAE 25.

Que además tiene las siguientes aplicaciones: - donde se requiera muy buena formabilidad o muy buena resistencia a la corrosión, o ambas pueden ser requeridas, en aplicaciones donde sea necesario el alto esfuerzo, utensilios de cocina, de manejo de alimentos y químicos, equipos de almacenamiento, botellas y jarras cerradas. Su composición química se detalla a continuación:

Al 99.0% mín

Fe + Si	1.0% máx
Cu	0.20% máx
Mn	0.05% máx
Zn	0.10% máx
otros elem.	0.05% máx, de tal manera que la suma sea 0.15% máx.

1.6 USO DE MATERIALES EN INGENIERIA Y OTROS TIPOS DE APLICACIONES.

Debido a las propiedades mecánicas que poseen las aleaciones Zn-Al para el proceso de inyección, su uso actualmente se está generalizando, ya que se busca nuevas aplicaciones y se está reemplazando piezas de diferentes materiales o aleaciones más pesadas que posean características similares o menores a las que poseen las aleaciones Zamak, con la ventaja de las velocidades de producción que es una de las causas que estas piezas sean menos costosas que constituiría otra ventaja.

Estas piezas pueden cumplir dos misiones diferentes que son: decorativas y mecánicas y muchas veces cumplen ambas misiones al mismo tiempo.

Si la pieza ha de destinarse a decoración, es conve -

niente inyectar el material a mayores velocidades, con temperatura de molde más alta, etc., para que su aspecto superficial sea lo más sano posible, sin marcas de flujo metálico, ni de expulsores, que encarecerían los procesos mecánicos de acabado.

En el caso de aplicaciones mecánicas, hay que procurar inyectar el metal a menores velocidades para que pueda salir más fácilmente el gas, con un molde más frío para que la solidificación sea más rápida y, como consecuencia, conseguir mejores características mecánicas. Siempre que la pieza quede llena, no es de importancia el que se aprecien marcas de flujo, - expulsores, etc. a no ser que esas marcas de llenado sean uniones frías, las cuales si debilitarían las características mecánicas de las piezas.

El empleo de las aleaciones de zinc en vehículos es muy importante, aunque las piezas puedan tener ambas funciones, decorativas y mecánicas. Entre estas últimas se encuentran: carburadores, bombas de gasolina, partes de velocímetros, soportes de lámparas, - cierres de puertas, etc. Entre las de carácter decorativo están: tapacubos, soportes de pilotos, marcos de faros, calandrias, rótulos, bastidores de espejos

retrovisores, placas de matrículas y, en general muchos embellecedores. Hay otras partes que cumplen ambas funciones como son: cuadros de mandos, paneles de instrumentos, manijas de puertas, reguladores de ventanas, etc.

El número de piezas inyectadas que se emplean en una máquina o aparato puede ser muy variado, para dar una idea, se cita el ejemplo de un surtidor moderno de gasolina, donde se han empleado 150 piezas en aleaciones de zinc inyectadas.

Fuera de la industria del automóvil son muy diversas las aplicaciones de las piezas inyectadas, en el hogar se usan en quemadores de cocina, ventiladores, grifería, radiadores de calefacción, enchufes y clavijas eléctricas, ferretería de edificios, etc. En las máquinas empleadas en el hogar y oficinas, existen un número indeterminado de piezas inyectadas en lavadoras de ropas, batidoras de cocina, aspiradoras y máquinas de coser, tocadiscos, televisores, máquinas de escribir y calcular, caja de amplificadores y proyectores, cámaras fotográficas, etc.

Por su tamaño hay que considerar las de grandes dimen-

siones como las luminarias de las farolas, peldaños de escaleras rodantes, etc., mientras que por su pequeñez se citan piezas de cremalleras.

1.7 CONTROL DE CALIDAD

1.7.1 Materiales de carga del horno

Utilizar cualquier horno convencional de los empleados para fundir metales no ferrosos caldeado por gas o fuel oil o un horno eléctrico de inducción.

Emplear solamente crisoles de carburo de silicio ya que los crisoles de hierro contaminarían el caldo. Los crisoles habrán de estar limpios y no deberán haber contenido latón o bronce previamente, ya que deberán evitarse el plomo, el cadmio y otros contaminantes.

Llevar rápidamente el caldo a una temperatura de colada de 454-660°C (según la aleación). Para obtener Zamak-3 se debe agregar aluminio completamente puro tan pronto como el Zinc se encuentre fundido, más tarde cuando el aluminio se

haya disuelto completamente debemos agregar el magnesio.

Para obtener Zamak-5 debemos fundir completamente el zinc, para luego agregarle la aleación endurecedora compuesta de aluminio-cobre-magnesio como un compuesto de 80-20-0.8.

Cuando la aleación se encuentre completamente fundida agitar dejar que el baño repose hasta quedar tranquilo, espumar y colar inmediatamente. Con ello se contribuye a evitar la posibilidad de la segregación de aluminio que puede producirse si se deja reposar la aleación antes de colar.

Los tratamientos de desgasificación, fluidificación o desoxidación no suelen ser necesarios, mantener en la parte superior del molde las superficies más importantes de las piezas. Las secciones gruesas exigen un mazarotaje especial y no regatear el empleo de enfriadores para evitar "la contracción de la cara inferior del zinc".

La turbulencia durante la colada es menos crítica, ya que la escasa rapidez de oxidación minimiza las incrustaciones de óxidos.

La alimentación puede realizarse mediante colada directa o a través de un canal para verter, pero siempre debe emplearse mazarota.

1.7.2 Producto terminado

Después de haber realizado el proceso de fusión se debe poner especial cuidado en el proceso de colada de esta aleación, se debe revisar de que el molde se encuentre limpio, libre de óxido, de elementos extraños, etc., que el cierre del molde sea completamente hermético y en especial que la temperatura del molde sea la adecuada, de tal manera que la pieza obtenida cumpla las características deseadas de acuerdo a la función que debe cumplir.

Si la función a cumplir es decorativa el molde debe encontrarse a una elevada temperatura y debe inyectarse la aleación fundida lentamente para que la pieza terminada no presente signos del

flujo del metal, en cambio si la función es para soportar esfuerzos mecánicos el molde debe encontrarse a temperatura baja, de tal manera que la solidificación del metal sea lo más rápida posible consiguiendo la microestructura deseada, obteniendo así piezas con buenas propiedades mecánicas, la inyección en este caso debe ser rápida porque los signos de flujo del metal no tiene importancia.

A continuación se detallan las normas que deben cumplir las aleaciones para fundición bajo presión conocidas como aleaciones Zamak y cuyas especificaciones para la ASTM y su equivalencia en las normas de la SAE.

ASTM	SAE
AG40A	903
AC41A	925

Los requisitos que deben cumplir los productos terminados de estas aleaciones son:

NORMAS ASTM

E 8 Prueba de tensión para materiales metáli-

cos

- E 23 Prueba de impacto para materiales metálicos.
- E 27 Análisis espectroquímico de aleaciones a base de zinc y alto contenido de zinc por la técnica de solución residual de arco D-C.
- E 47 Análisis químico para aleaciones a base de zinc, por inyección.
- E 88 Muestreo de metales y aleaciones no ferrosas fundidas, para la determinación de la composición química.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 Técnica Experimental

El objeto de este trabajo es tratar de reproducir las aleaciones Zn-Al para fundición a presión conocidas como aleaciones Zamak, con características similares a las de Normas Norte-Americanas, por no existir normas nacionales.

Para realizar el trabajo propuesto se utiliza chatarra de zinc electrolítico, de aluminio 1100, de cobre electrolítico, y de magnesio.

Debido a las restricciones existentes en el Laboratorio la cantidad de aleaciones producidas no puede ser elevada, preparando pequeñas cantidades cuidando en todo momento de mantener el proceso lo más cercano al proceso industrial, lográndose de esta manera reproducir el proceso de inyección, razón por la cual se empleó un molde metálico para colar las probetas, -

construido especialmente para este propósito.

Para la preparación de estas aleaciones se empleó dos procesos: fundiendo directamente la chatarra y utilizando aleación madre previamente preparada demostrando de esta manera la validez de ambos métodos.

Para realizar el presente trabajo se utilizó el siguiente equipo:

Un horno eléctrico de mufla con capacidad de hasta .. 1100°C , trabajando en el rango de 600°C - 900°C , con controles de regulación de temperatura con una precisión $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Un crisol con capacidad para 5.0 Kilogramos completamente limpio y seguro de que no se lo haya utilizado para fundir hierro, cuyos residuos causarían la contaminación de las aleaciones que se preparen en este crisol.

Una balanza con capacidad para 2.5 kilogramos con escala de 0.10 gramos, en la cual se pesan los elementos que componen la aleación en las proporciones determinadas, lográndose una precisión de ± 0.05 gramos, en

el proceso industrial esta variación corresponde a ± 5 gramos.

Una tenaza para operar el crisol, por medio de esta tenaza se mete y se saca el crisol del horno cuantas veces sea necesario, y para colar el metal en el molde metálico.

Un agitador, por no existir en el laboratorio un agitador adecuado se empleó una lámina de acero inoxidable con el que se agitaba el metal líquido para homogenizar la aleación y no se produzca segregación en estado líquido.

Un molde metálico, ver fotografías N° 14 y N° 15 construido de acero A-36, consta de dos planchas de 12.7 mm. de espesor rectificadas las caras que estan en contacto, las dimensiones del molde son: 300.0 mm. de largo y 300.0 mm. de alto, ver figura N° 16, las partes del molde se encuentran unidas por medio de cuatro pernos Allen de $\phi 3/8"$ x 1" para maquinar los cuatro agujeros que posee el molde de $\phi 3/8"$ x 11. 1/2" se mantienen las planchas unidas de tal manera que después de realizado el maquinado cada cara posee la mitad del agujero, lo que permitía con facilidad sa -

car las probetas.

Las primeras probetas obtenidas presentaron un problema común, burbujas de aire atrapado por la rápida solidificación de las paredes y la ausencia de metal en el núcleo de las probetas, razón por la cual se decidió disminuir la longitud de las probetas dejando una longitud de 140 mm. con lo que se consiguió probetas sin problemas de colado.

Una llave Allen de 5/16" para abrir el molde después de colar la aleación y poder extraer las probetas y apretar los pernos para cerrar herméticamente el molde para poder recibir la mezcla líquida.

Para realizar este trabajo con la seguridad necesaria se empleó un casco con protector facial y un par de guantes para proteger las manos de los objetos calientes y/o cortantes que se operan durante las diferentes operaciones.

Utilizando el equipo descrito anteriormente se procedió a preparar las aleaciones, se prendió el horno seleccionando la temperatura de trabajo, se pesaron los materiales en las cantidades determinadas de acuerdo a

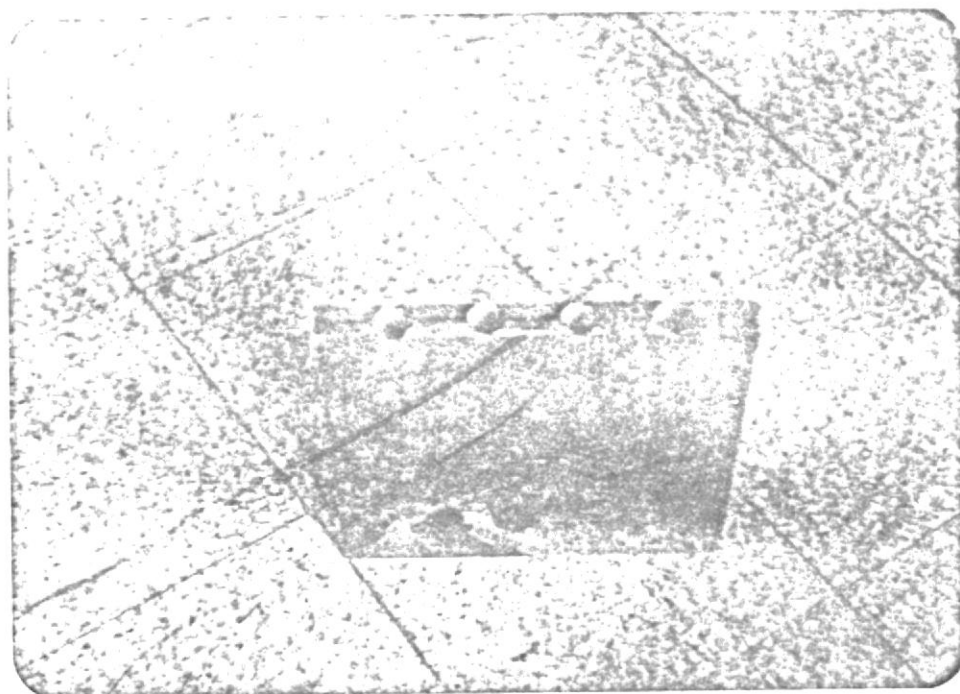


Figura N° 14

Molde utilizado para colar las aleaciones ZAMAK, cerrado, listo para recibir el metal líquido para producir las probetas.

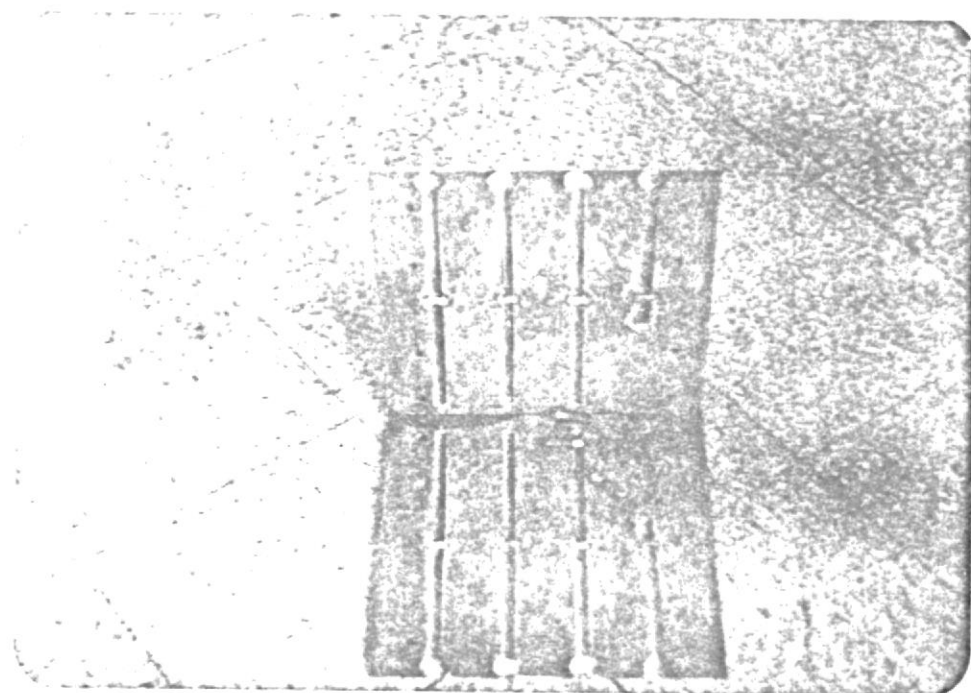


Figura N° 15

Molde utilizado para colar las aleaciones ZAMAK, abierto, una vez que se han retirado las probetas producidas.

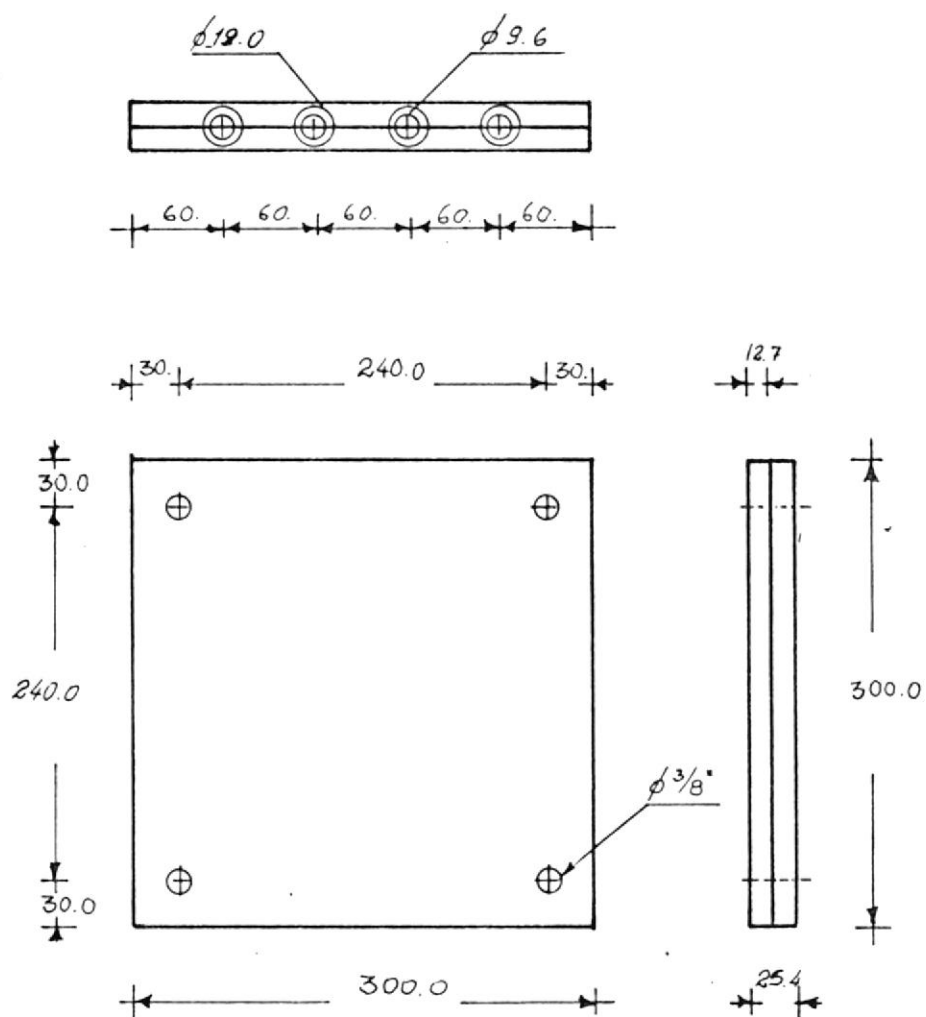


Figura N° 16

Molde utilizado para colar las probetas de las aleaciones ZAMAK, dimensiones.

la composición deseada, colocando estos elementos en el crisol para lograr que los metales se fundan se los coloca en el horno, se sigue los pasos establecidos en el apartado 1.7.1 para lograr reproducir las aleaciones ZAMAK a partir de chatarras.

Después que los metales se encontraban líquidos utilizando el agitador se homogenizó la mezcla y se vertió en el molde lentamente y en forma constante para lograr producir probetas sanas sin fallas que serán sometidas a diferentes ensayos mecánicos para determinar las propiedades mecánicas de estas aleaciones producidas en laboratorio y poder comparar con las propiedades de norma de las aleaciones ZAMAK producidas a partir de metales puros.

2.1.1 Obtención de la aleación Madre

Del diagrama de equilibrio de la aleación Zn-Al que se encuentra en la Fig. N° 5 se determinó la composición química para la fabricación de la aleación madre, basando esta selección en la menor temperatura de fusión, correspondiendo a este punto la composición siguiente, 80% Zn y 20% de Al.

<u>Primera Prueba</u>		
<u>Elemento</u>	<u>Peso</u> <u>(grs)</u>	<u>Porcentaje</u>
Zinc	1005.30	80
Aluminio	251.30	20
Temperatura del horno: 750°C		

Cuando el horno alcanzó la temperatura de trabajo (750°C) se metió el crisol, que contiene el aluminio y zinc que previamente fueron pesados, dentro del horno, manteniéndolo durante el tiempo necesario para que se produzca la fusión de estos metales, luego de lograr ésto se mezcla bien el metal líquido para que exista una completa homogenización, evitando de esta manera la segregación que causaría problema cuando se utilice la aleación madre posteriormente, luego de la agitación del metal líquido se realiza la colada para la obtención de los panes que más tarde se utilizarán en las pruebas número dos y tres para la fabricación de Zamak-3 y Zamak-5.

2.1.2 Obtención de la aleación Zamak usando aleaciones Madre

A partir de la aleación madre obtenida en la

prueba número uno (apartado 2.1.1) se procede a fabricar las aleaciones Zamak-3 y Zamak-5 en las pruebas que a continuación se detallan:

Segunda Prueba

Aleación: AG40A (Zamak-3)

<u>Elemento</u>	<u>Peso</u> <u>grs.</u>	<u>Porcentaje</u> <u>%</u>
Zinc	955.80	77.64
Aleación Madre	272.30	22.12
Magnesio	1.50	0.12
Cobre	1.50	0.12

Temperatura del horno 600°C

Tercera Prueba

Aleación AC41A (Zamak-5)

<u>Elemento</u>	<u>Peso</u> <u>grs.</u>	<u>Porcentaje</u> <u>%</u>
Zinc	822.90	76.73
Aleación Madre	236.40	22.04
Magnesio	2.20	0.20
Cobre	11.00	1.03

Temperatura del horno 850°C

Tanto para la prueba número dos y número tres se colocó en el crisol el zinc y la aleación ma-

dre conjuntamente con el cobre, manteniendo el crisol dentro del horno hasta que los metales se encuentren completamente fundidos después de lo cual se agrega el magnesio cuidando que no esté en contacto con el aire mientras se funde.

Antes de vaciar en el molde se lo mezcla totalmente para homogeneizar la mezcla de tal manera que no exista segregación de algún elemento en el momento de colado.

Las probetas obtenidas después de colar las aleaciones preparadas en estas pruebas son sometidas a diferentes ensayos mecánicos para de esta manera certificar el método utilizado, estos resultados se encuentran detallados en el apartado 2.3.3.

2.1.3 Obtención de aleaciones Zamak usando chatarras

Tanto para la obtención de la aleación madre como para la obtención de las aleaciones Zamak a partir de la aleación madre se utilizó chatarras, en las siguientes dos pruebas se fundirá directamente las chatarras para la obtención de las aleaciones Zamak.

La chatarra de zinc proviene de los desechos del zinc electrolítico utilizado en la protección galvánica utilizada en los barcos, el aluminio se lo obtiene de los residuos conductores eléctricos de alta tensión correspondiendo a un aluminio 1100, el cobre proviene de los residuos de soldadura de cobre utilizados en diferentes procesos o de conductores eléctricos de baja tensión, el magnesio proviene de ánodos de sacrificio.

Cuarta Prueba

Aleación: AG40A (Zamak-3)

<u>Elemento</u>	<u>Peso</u> <u>grs.</u>	<u>Porcentaje</u> <u>%</u>
Zinc	1639.30	95.28
Aluminio	77.20	4.48
Magnesio	2.20	0.12
Cobre	2.00	0.12

Temperatura del horno 650°C

Para la cuarta y quinta prueba se funde primero el zinc, cuando esté completamente líquido se adiciona el aluminio y el cobre, una vez que los metales se encuentren completamente fundidos se adiciona el magnesio con la precaución de que

no reaccione con el aire mientras se funde.

Quinta Prueba

Aleación: AC41A (Zamak-5)

<u>Elemento</u>	<u>Peso</u> <u>grs.</u>	<u>Porcentaje</u> <u>%</u>
Zinc	1933.40	94.36
Aluminio	92.00	4.49
Magnesio	3.20	0.16
Cobre	20.40	0.99

Temperatura del horno 850°C.

Igual que las pruebas anteriores las probetas obtenidas por este método son sometidas a diferentes ensayos cuyos resultados están resumidos en el apartado 2.3.3.

En las Tablas V y VI se encuentran tabulados los porcentajes de los elementos utilizados en la fabricación de las aleaciones Zamak de acuerdo a los métodos de fabricación.

TABLA V

Elemento	Métodos de Fabricación	
	(a)	(b)
Zinc	95.34	95.28
Aluminio	4.42	4.48
Magnesio	0.12	0.12
Cobre	0.12	0.12

PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS
EN LA FABRICACION DE LA ALEACION ZAMAK-3

a) Utilizando Aleación Madre

b) Fundiendo directamente chatarra

TABLA VI

ELEMENTO	METODOS DE FABRICACION	
	(a)	(b)
Zinc	94.36	94.36
Aluminio	4.41	4.49
Magnesio	0.20	0.16
Cobre	1.03	0.99

PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS
EN LA FABRICACION DE LA ALEACION ZAMAK-5

a) Utilizando aleación Madre

b) Fundiendo directamente chatarra

2.2 CONTROL DE ENSAYOS

2.2.1 Obtención de muestras

Independientemente del método de obtención de las aleaciones Zamak utilizadas (2.1.2 y 2.1.3), se utilizó el mismo método de colado para la obtención de las probetas de las cuales se extrae las muestras que serán analizadas posteriormente.

La aleación una vez que se encontraba completamente fundidas se la colaba en el molde metálico que fue construido para este propósito, ver figuras N° 14, N° 15, y N° 16, el metal líquido se vacía en el molde que se ha colocado con cierta inclinación con respecto a la vertical, de tal manera que el aire sea desalojado al mismo tiempo que el molde se está llenando y no quede aire atrapado, el que causaría la mala formación de las probetas que nos daría falsos resultados en los ensayos de tracción.

Luego que las probetas se solidificaron fueron retiradas abriendo el molde, más tarde se vuelve

a cerrar herméticamente para obtener probetas correctamente formadas, esta operación se repite las veces, que sea necesario hasta agotar el metal líquido.

Estas probetas son sometidas más tarde a ensayos de tracción, ensayos de dureza, se realizará análisis químico, y análisis metalográfico con los cuales estaremos en condiciones de certificar si el proceso de reciclar chatarra cumple con las normas de la aleación Zamak.

2.2.2 Análisis Químico

Después de obtener las probetas sometidas a ensayos mecánicos de tracción y de dureza, se analiza la composición química para poder certificar que los componentes se encuentran dentro de los límites establecidos para las aleaciones Zamak.

El método de absorción Atómica es empleado para la determinación del porcentaje de los componentes existentes en las pruebas realizadas, los resultados de este análisis se encuentran tabulados en la Tabla VII.

La descripción del método de absorción atómica y de otros métodos de determinación de los componentes de esta aleación, se encuentran en el Apéndice I.

2.2.3 Propiedades Mecánicas

Las probetas obtenidas por los métodos descritos en los apartados 2.1.2 y 2.1.3 se las somete a ensayos mecánicos de tracción y de dureza para determinar las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak que fueron preparadas en laboratorio, los resultados obtenidos son comparados con los valores de norma establecidos para estas aleaciones, propiedades que indican si el proceso es válido.

2.2.3.1 Tracción

En la Fig. N° 17 se puede observar las dimensiones de las probetas para metales y aleaciones no ferrosas establecidos por la Norma ASTM E 8.

Por existir restricción en el equipo de

TABLA VII

Elemento	C o m p o s i c i ó n %				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Aluminio	19.40	4.38	4.38	4.40	4.40
Magnesio	--	0.11	0.17	0.12	0.16
Cobre	0.02	0.16	1.02	0.12	1.02
Hierro	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Plomo	--	--	--	--	--
Cadmio	--	--	--	--	--
Estaño	--	--	--	--	--
Zinc	resto	resto	resto	resto	resto

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO EFECTUADO A LAS PRUEBAS
REALIZADAS PARA LA OBTENCION DE ALEACIONES ZAMAK

ensayos de tracción por encontrarse dañado se utilizó el equipo pequeño, por lo que las probetas se las ensayó tal como salían del molde, barras cilíndricas $\phi 9.6 \times 127$ m. Ver Fig. 18.

En las Tablas VIII, IX, X y XI se encuentran tabulados los resultados obtenidos del ensayo de tracción de acuerdo al tipo de aleación y al método de fabricación.

2.2.3.2 Dureza

Para la determinación de la dureza a las aleaciones preparadas se empleó el método Brinell, se aplica una carga de 500 Kg. con una bola de 10 mm. durante 30 seg. se mantiene la carga aplicada en la superficie de la probeta que se ensaya.

En las Tablas XII y XIII se encuentran tabulados los resultados obtenidos del ensayo de dureza de acuerdo al tipo de aleación y al método de fabricación.

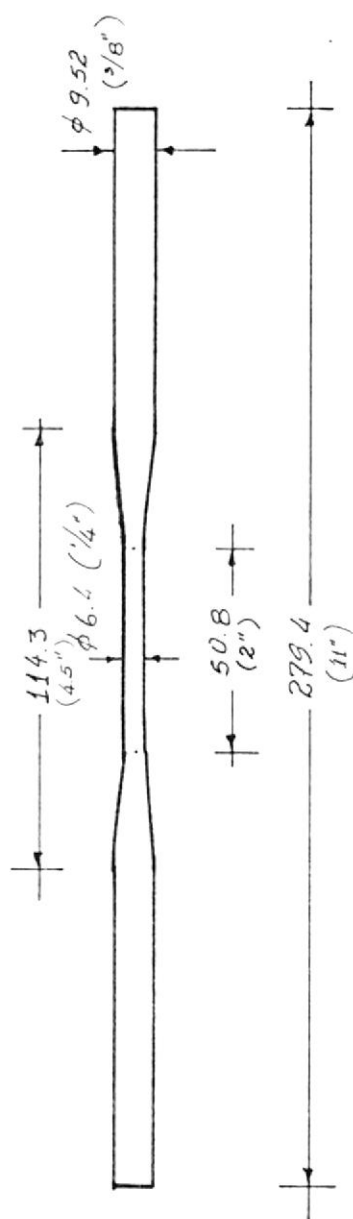


Figura N° 17

Dimensiones de Probeta para realizar Ensayos de Tracción
de Aleaciones no Ferrosas, según Norma ASTM E 8

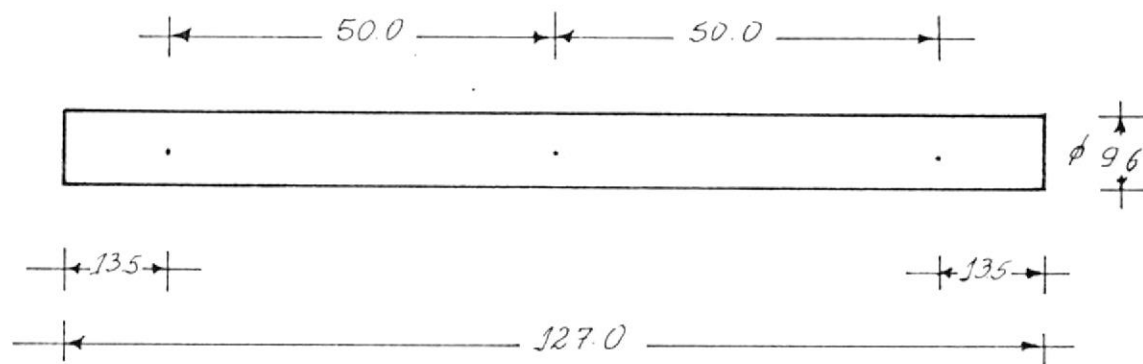


Figura N° 18

Dimensiones de Probetas utilizadas para los Ensayos de Tracción
de las Aleaciones ZAMAK producidas reciclando chatarra

2.2.4 Metalografía

Utilizando un microscopio observamos las características de la estructura de las aleaciones fabricadas, después de haber pulido las muestras se las observó al microscopio comparando la estructura observada con las estructuras del Atlas de la ASM y se obtuvieron las figuras N° 19, N° 20, N° 21, N° 22 y N° 23 de las microestructuras observadas.



TABLA VIII

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL Apartado 5863 Guayaquil Ecuador					ENSAYO DE TENSION					Solicitud No.	
Lab. Ensayo de Materiales											
Solicitado por: Ernesto Martínez					Observaciones:						
Material: Zamak-3					Norma:						
Temp. de ensayo:					Grado:						
Velocidad de ensayo:					Resistencia a la tracción:						
Equipo usado:					Límite de fluencia:						
Fecha: Agosto 1/83					Alargamiento:						
Prueba # 2											
Método: Utilizando Aleación Madre Zn-Al (80-20)											
Probeta No.		Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVACIONES	
		mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²	o/o		
1		9.60	72.38	50.00	50.80			21.31	1.60		
2		9.60	72.38	50.00	51.06			21.65	2.12		
3		9.60	72.38	50.00	50.60			21.65	1.20		
4		9.60	72.38	50.00	50.82			20.30	1.64		
5		9.60	72.38	50.00	50.70			23.50	1.40		
6		9.60	72.38	50.00	50.70			20.00	1.52		

TABLA IX

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Apartado 5863 Guayaquil Ecuador				ENSAYO DE TENSION				Solicitud No.	
Lab. Ensayo de Materiales								Observaciones: Norma: Grado: Resistencia a la tracción: Límite de fluencia: Alargamiento:	
Solicitado por: Ernesto Martínez Material: Zamak-5 Temp. de ensayo: Velocidad de ensayo: Equipo usado: Fecha: PRUEBA # 3 Método: Utilizando aleación madre Zn-Al (80-20)									
Probeta	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVACIONES
No.	mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²	o/o	
1	9.60	72.38	50.00	50.98			27.63	1.80	
2	9.60	72.38	50.00	50.80			23.50	1.60	
3	9.60	72.38	50.00	51.02			25.56	2.04	
4	9.60	72.38	50.00	51.00			25.14	2.00	
5	9.60	72.38	50.00	50.58			28.32	1.16	
6	9.60	72.38	50.00	50.90			27.06	1.80	





TABLA X

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Apartado 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

ENSAYO DE TENSION

Solicitud No.

Solicitado por: Ernesto Martínez

Material: Zamak-3

Temp. de ensayo:

Velocidad de ensayo:

Equipo usado:

Fecha: Agosto 1/83

Prueba # 4

Método: Fundiendo chatarra directamente

Observaciones:

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Probeta	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVACIONES
No.	mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²	o/o	
1	9.60	72.38	50.00	51.08			23.00	2.16	
2	9.60	72.38	50.00	50.66			23.70	1.32	
3	9.60	72.38	50.00	50.90			24.50	1.80	
4	9.60	72.38	50.00	51.00			23.00	2.00	
5	9.60	72.38	50.00	50.88			23.70	1.76	
6	9.60	72.38	50.00	51.10			23.60	2.20	



TABLA XI

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Apartado 5863 Guayaquil Ecuador				ENSAYO DE TENSION				Solicitud No.	
Lab. Ensayo de Materiales									
Solicitado por: Ernesto Martínez									
Material: Zamak-5									
Temp. de ensayo:									
Velocidad de ensayo:									
Equipo usado:									
Fecha: Agosto 1/83									
Prueba # 5									
Método: fundiendo chatarra directamente									
Observaciones: Norma: Grado: Resistencia a la tracción: Límite de fluencia: Alargamiento:									
Probeta No.	Díámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVACIONES
	mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²	o/o	
1	9.60	72.38	50.00	50.92			30.45	1.84	
2	9.60	72.38	50.00	50.96			27.61	1.92	
3	9.60	72.38	50.00	50.64			25.00	1.28	
4	9.60	72.38	50.00	50.78			27.06	1.56	
5	9.60	72.38	50.00	50.92			25.37	1.84	
6	9.60	72.38	50.00	51.02			25.00	2.04	

TABLA XII

Probeta Nº	Dureza Brinell 500, 10, 30 seg.	
	(a)	(b)
1	96.3	92.6
2	92.6	92.6
3	96.3	92.6
4	89.0	92.6
5	96.3	92.6
6	92.6	96.3

VALORES DE DUREZA BRINELL OBTENIDOS DE
LOS ENSAYOS REALIZADOS A LA ALEACION ZAMAK-3

a) Fabricación utilizando aleación madre

b) Fundiendo chatarra directamente

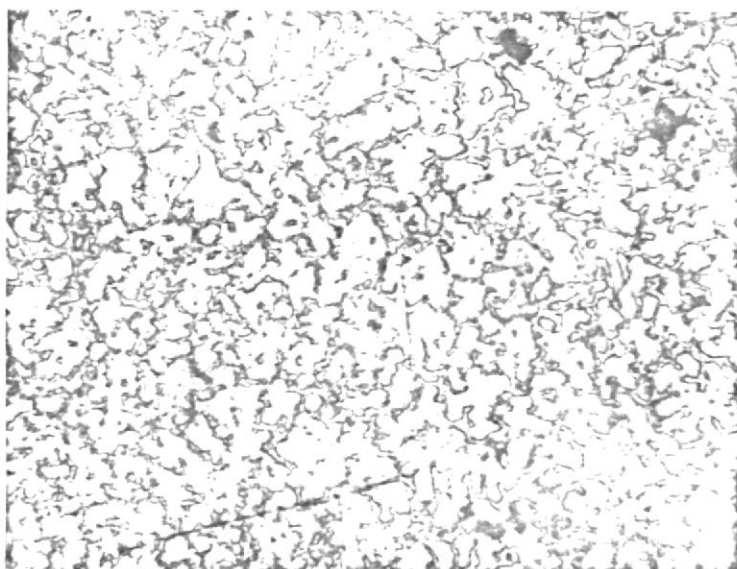
TABLA XIII

Probeta Nº	Dureza Brinell 500, 10, 30 seg.	
	(a)	(b)
1	96.3	96.3
2	96.3	96.3
3	96.3	96.3
4	96.3	96.3
5	96.3	96.3
6	96.3	96.3

VALORES DE DUREZA BRINELL OBTENIDOS DE LOS
ENSAYOS REALIZADOS A LAS ALEACIONES ZAMAK-5

a) Fabricación utilizando aleación madre

b) Fundiendo chatarra directamente



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 lt H_2O 200 x

Figura N° 19

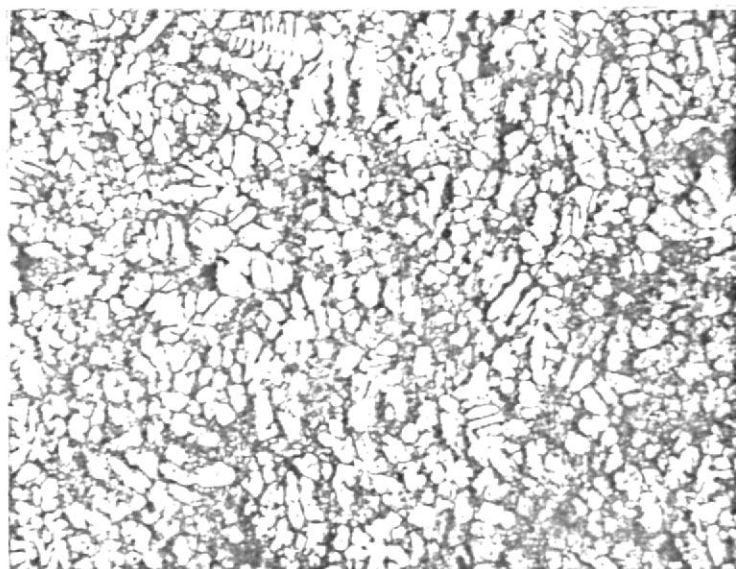
Aleación madre Zn-Al que contiene
80% Zn y 20% Al



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O 200 x

Figura N° 20

Aleación Zamak-3 (AG40A) preparada
utilizando aleación madre Zn-Al 80-20
de Fig. 14.

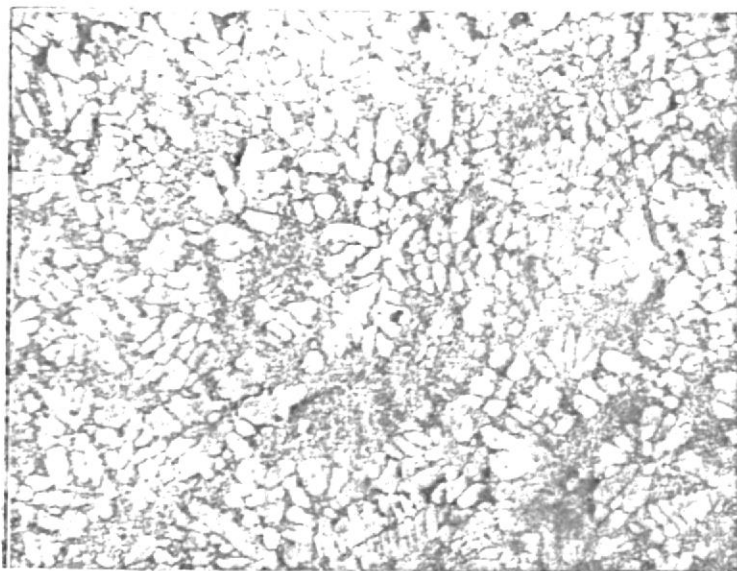


50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O

200 X

Figura N° 21

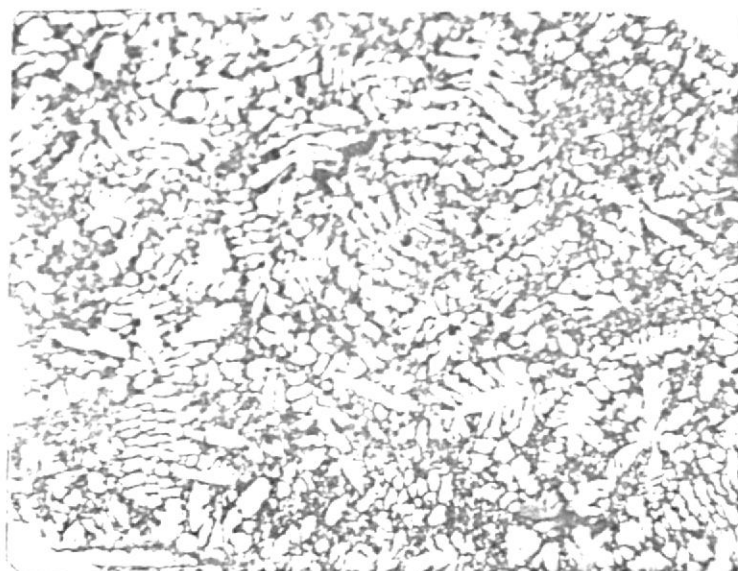
Aleación Zamak-5 (AC41A) preparada utilizando aleación madre Zn-Al 80-20. de Fig. 9



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro de agua 200 x

Figura N° 22

Aleación Zamak-3 (AG40A) que se obtuvo fundiendo directamente la chatarra.



50 gr CrO_3 , 4 gr Na_2SO_4 , 1 litro H_2O

200 x

Figura N° 23

Aleación Zamak-5 (AC41A) preparada
fundiendo directamente chatarra y luego
colando en un molde permanente

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A.- ANALISIS DE RESULTADOS

De las pruebas realizadas en este trabajo puede decirse que es factible producir aleaciones Zamak utilizando como materia prima chatarra de zinc electrolítico y de aluminio aleación ASTM 1100, posibilitando a los fundidores locales de fabricarlas en sus actuales instalaciones.

La discusión de este trabajo radica principalmente en el análisis de las propiedades mecánicas de acuerdo al método de fabricación y el análisis químico de acuerdo al tipo de aleación.

Los resultados de los ensayos mecánicos realizados a las probetas fabricadas en las diferentes pruebas son resumidas en la Tabla XIV, en la que se encontrarían tabuladas las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak fabricadas en el laboratorio coladas en molde

metálico.

Se observa en la Tabla XIV que las propiedades mecánicas de las aleaciones que se fabricaron fundiendo directamente chatarra son ligeramente mayores que las propiedades de las aleaciones que se fabricaron empleando aleación madre (Zn-Al,80-20) diferencia que puede ser explicada de la siguiente manera: la aleación madre preparada en laboratorio, (prueba N° 1 , apartado 2.1.1) fue colada en forma de barras cilíndricas $\phi 9.6$ mm x 127 mm medidas y formas diferentes a las recomendadas por no existir el molde adecuado, con lo que se evitaría la segregación del aluminio - que se puede producir al momento de colado de esta aleación.

En procesos industriales de fabricación se debe tener cuidado en el moldeo de las aleaciones madre para evitar la segregación del aluminio que es la causa de la disminución de las propiedades mecánicas cuando se emplea este método de fabricación.

Observando nuevamente la Tabla XIV podemos darnos cuenta de la diferencia que existe en las propiedades mecánicas entre los tipos de aleaciones producidos, di-

ferencia causada por la presencia de mayor contenido de cobre y magnesio en la aleación Zamak-5 (AC41A), lo cual nos confirma que el cobre y el magnesio mejoran las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak.

Comparando las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak producidas en el laboratorio colándolas en el molde metálico son menores a las propiedades de norma existentes para estas aleaciones para procesos de inyección, diferencia causada por la diferencia existente en la velocidad de enfriamiento y por el proceso mismo, la presión ejercida sobre el metal líquido cuando se producen piezas por inyección ayuda a la formación de una microestructura muy fina con lo que se consigue mejorar las propiedades mecánicas de las aleaciones Zamak.

Se comprobó que la temperatura de trabajo cuando se utilizó aleación madre para fabricar aleaciones Zamak es menor a la utilizada cuando se funde directamente los metales, demostrando de esta manera que el método más económico para fabricar estas aleaciones es el que emplea aleaciones madre.

En el presente trabajo se empleó un solo tipo de alea-

ción madre (Zn-Al, 80-20) que fue excelente para fabricar la aleación Zamak-3 (AG40A), pero para aleación Zamak-5 no presenta ninguna ventaja por cuanto por el contenido de cobre la temperatura de trabajo debe ser alta, para producir aleación Zamak-5 empleando aleaciones madre se recomienda usar la siguiente aleación madre: Al-Cu-Mg (80-20-8).

Al utilizar el método de aleación madre para la fabricación de las aleaciones Zamak se indicó la ventaja de no necesitar personal u operarios calificados para la fabricación, lo cual se demuestra en este trabajo, razón por la cual se ha construido las Tablas XV y XVI que son utilizadas para determinar el peso del zinc y el peso de la aleación madre cuando se desea fabricar aleaciones Zamak utilizando el método de aleación madre.

Otra ventaja de la composición de la aleación madre empleada 80% Zn y 20% Al es la facilidad con que se puede realizar los cálculos para determinar la proporción o peso de la aleación madre que debe estar presente en la fabricación de la aleación Zamak-3.

A continuación se da un ejemplo del uso de la Tabla XV

TABLA XIV

Método de Fabricación	Aleación	Resistencia de tracción Kg/mm ²	Dureza BHN 500,10,30 seg	Alargamiento en 50 mm %
Utilizando Aleación Madre	ZAMAK-3 (AG40A)	20.0 - 24.0	89.0 - 96.3	1.60 - 2.12
	ZAMAK-5 (AC41A)	24.0 - 28.0	96.3	1.16 - 2.04
Fundiendo directa- mente chatarra	ZAMAK-3 (AG40A)	23.0 - 25.0	92.6 - 96.3	1.32 - 2.20
	ZAMAK-5 (AC41A)	25.0 - 30.0	96.3	1.26 - 2.04

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES
ZAMAK PREPARADAS RECICLANDO CHATARRA

se desea fabricar 300 Kgr. de aleación Zamak utilizando aleación madre.

De la Tabla XV se determina que para 300 Kgr. se debe fundir 240 Kgr. de Zinc y 60 Kgr. de aleación madre, ajustando la composición luego añadiendo el magnesio y cobre necesarios.

Si utilizamos el método convencional tendremos que realizar las operaciones matemáticas necesarias para la determinación del peso de los componentes que intervienen en la preparación de esta aleación, además se demostrará matemáticamente la exactitud del método de utilización de aleación madre, utilizaremos el mismo ejemplo anterior.

Siendo la composición química de la aleación Zamak la siguiente: 4% Al, 0.04% Mg y 0.25% Cu máx. el resto corresponde al Zn 95.61% para nuestros cálculos sin causar error podemos aproximar a 96% Zn.

Determinación del aluminio

$$4\% \quad 300 \times 0.04 = 12 \text{ Kgr.} \quad (1)$$

Determinación del Zinc

$$96\% \quad 300 \times 0.96 = 288 \text{ Kgr.} \quad (2)$$

De tal manera que al fundir (1) y (2) tendremos:

$$\begin{aligned} 4\% \text{ Al} + 96\% \text{ Zn} &= 100\% \text{ Zamak} \\ 12 \text{ Kg Al} + 288 \text{ Kg Zn} &= 300 \text{ Kg Zamak} \end{aligned} \quad (3)$$

Utilizando aleación madre, de la Tabla XV se determinó 240 Kg Zn y 60 Kg aleación madre, conociendo la composición de la aleación madre 80% Zn y 20% Al.

Zn presente en la aleación madre

$$80\% \quad 60 \times 0.80 = 48 \text{ Kg} \quad (4)$$

Aluminio presente en la aleación madre

$$20\% \quad 60 \times 0.20 = 12 \text{ Kg} \quad (5)$$

De los valores obtenidos de la Tabla XIV

$$240 \text{ Kg Zn} + 60 \text{ Kg Aleación madre} = 300 \text{ Kg Zamak} \quad (6)$$

reemplazando (4) y (5) en (6)

$$240 \text{ Kg Zn} + (48 \text{ Kg Zn} + 12 \text{ Kg Al}) = 300 \text{ Kg Zamak}$$

$$288 \text{ Kg Zn} + 12 \text{ Kg Al} = 300 \text{ Kg Zamak} \quad (7)$$

podemos darnos cuenta que las ecuaciones (3) y (7) son idénticas demostrando de esta manera la exactitud de este método y la rapidez de preparación..

En las prácticas se debe fundir la aleación madre en forma de panes con un peso de 5 Kg. para facilitar la operación del personal que realizara estos trabajos, ya que una aleación madre está compuesta de 4 Kg de Zn y 1 Kg de Al, el número de panes a utilizarse también puede determinarse de las Tablas XV y XVI.

Aprovechando que en el Taller Mecánico de la ESPOL se construyó dos máquinas de moldeo por gravedad para producir cojinetes para rodillos de transportadores de cajas de banano, bajo recomendaciones de diseño de la máquina y del material a emplear para producir estas piezas, dadas por el Laboratorio de Metalurgia de la ESPOL.

Se verificó la bondad de las aleaciones producidas en este trabajo, obteniendo buenos resultados con la fabricación de estas piezas con esta aleación.

Reportes sobre estas piezas indican que se comportan a satisfacción, como las originales de aluminio importadas, con la ventaja al haber recomendado el uso de este material y el molde, el proceso se realiza a bajas temperaturas con lo que se economiza combustible y la técnica de colado es sencilla.

TABLA XV

ZAMAK-3 Kgr	ZINC Kgr	ALEACION MADRE Zn-Al (80-20) Kgr	PANES Cant.
50	40	10	2
100	80	20	4
150	120	30	6
200	160	40	8
250	200	50	10
300	240	60	12
350	280	70	14
400	320	80	16
450	360	90	18
500	400	100	20

DETERMINACION DE LOS PESOS DE ZINC
Y ALEACION MADRE (Zn-Al 80-20) PARA LA
OBTENCION DE ALEACION ZAMAK-3 EN BASE AL
PESO DESEADO DE ESTA ALEACION

TABLA XVI

ZAMAK-5 Kgrs.	ZINC Kgrs.	ALEACION MADRE Al-Cu-Mg (80-20-.8) Kgrs.	PANES Cant.
50	47.5	2.5	0.5
100	95.0	5.0	1.0
150	142.5	7.5	1.5
200	190.0	10.0	2.0
250	237.5	12.5	2.5
300	285.0	15.0	3.0
350	332.5	17.5	3.5
400	380.0	20.0	4.0
450	427.5	22.5	4.5
500	475.0	25.0	5.0

DETERMINACION DE LOS PESOS DE ZINC Y
 ALEACION MADRE Al-Cu-Mg (80-20-.80)
 PARA LA OBTENCION DE ALEACION ZAMAK-5
 EN BASE AL PESO DESEADO DE ESTA ALEACION

En las Figuras del N° 24 al N° 32 se pueden observar los diferentes pasos realizados para producir las mencionadas piezas utilizando las aleaciones preparadas en este trabajo.

B.- CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas a través del presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- Reciclando chatarra se puede obtener aleaciones Zamak con propiedades similares a las de norma.
- No se necesita equipos nuevos en las instalaciones actuales de fundición.
- El costo de producir aleaciones Zamak reciclando chatarra es inferior al de importación.
- De esta manera se puede cubrir un porcentaje de la demanda actual, evitando al mismo tiempo fuga de divisas al extranjero.
- Los procesos de fabricación de aleaciones Zamak em-

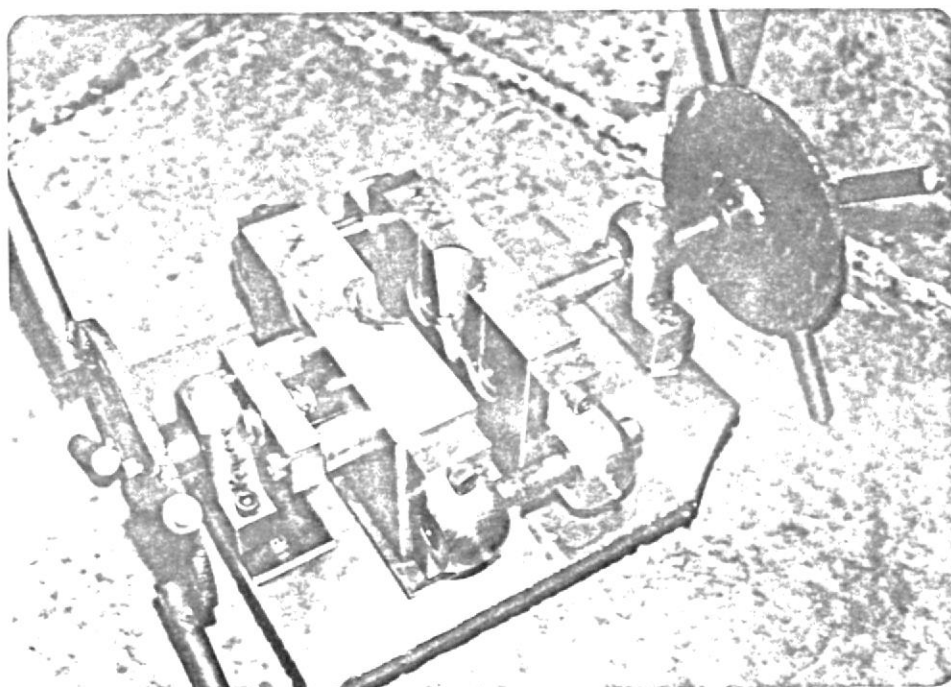


Figura N° 24

Vista general de la máquina para fundir
por gravedad construida en Taller Mecánico
de la ESPOL

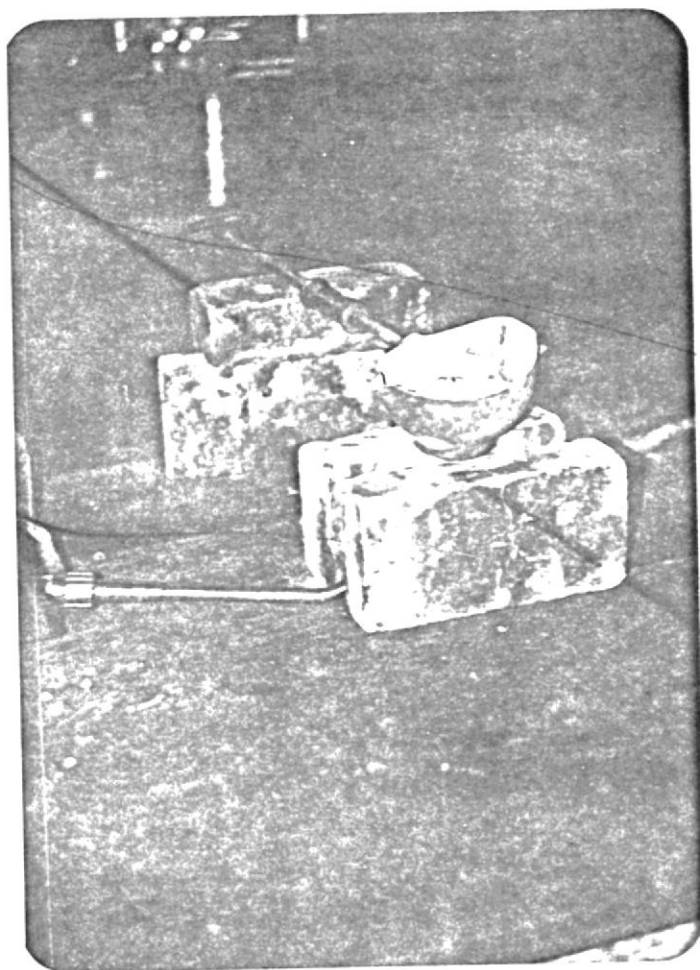


Figura N° 25

Proceso de fusión de la aleación Zamak
utilizada para producir los cojinetes para
rodillos de transportadores de cajas de banano

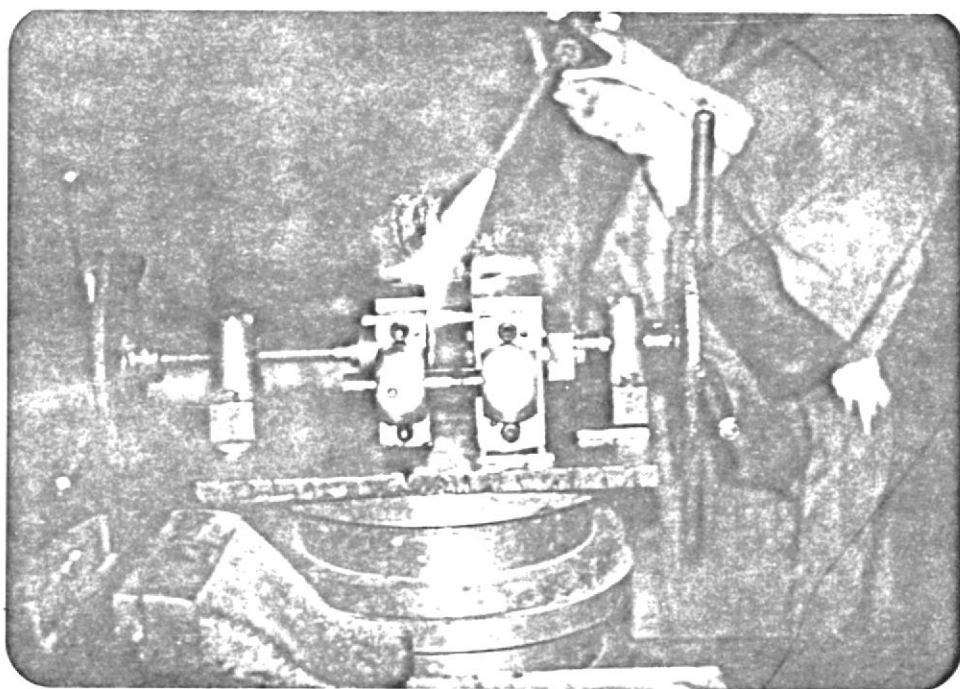


Figura N° 26

Precalentamiento del Molde

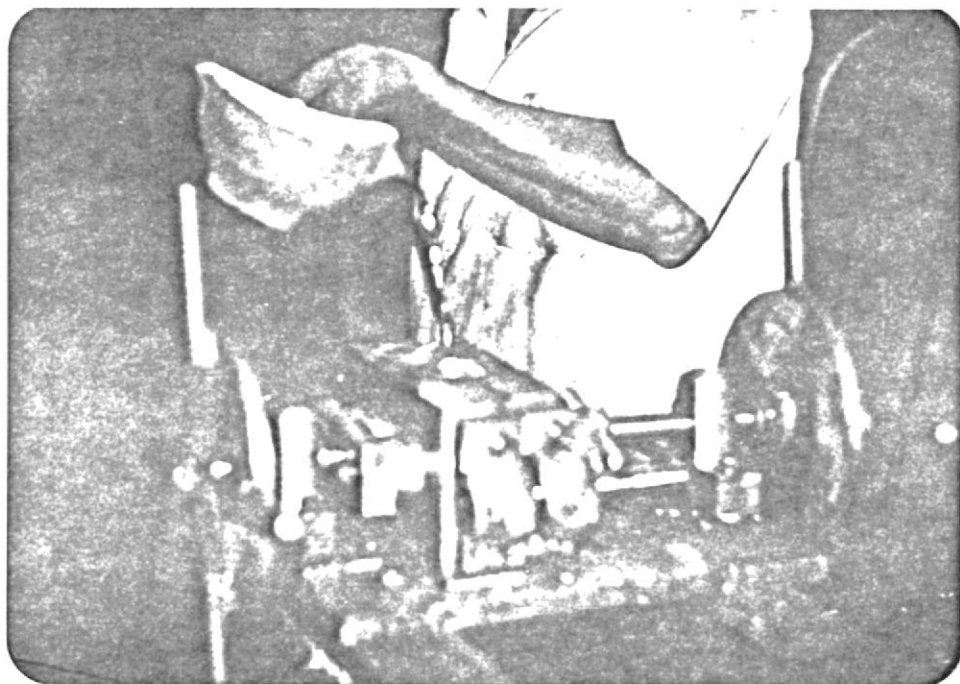


Figura N° 27

Proceso de Colado,
la aleación Zamak es vaceada en el molde

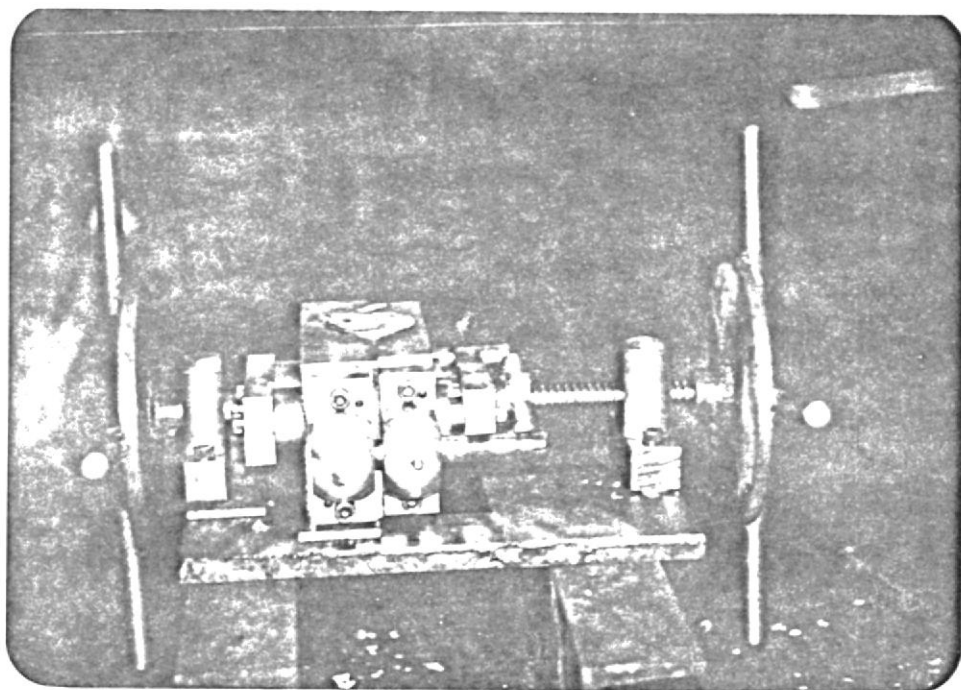


Figura N° 28

Molde completamente lleno,
el material se solidifica
formando los cojinetes

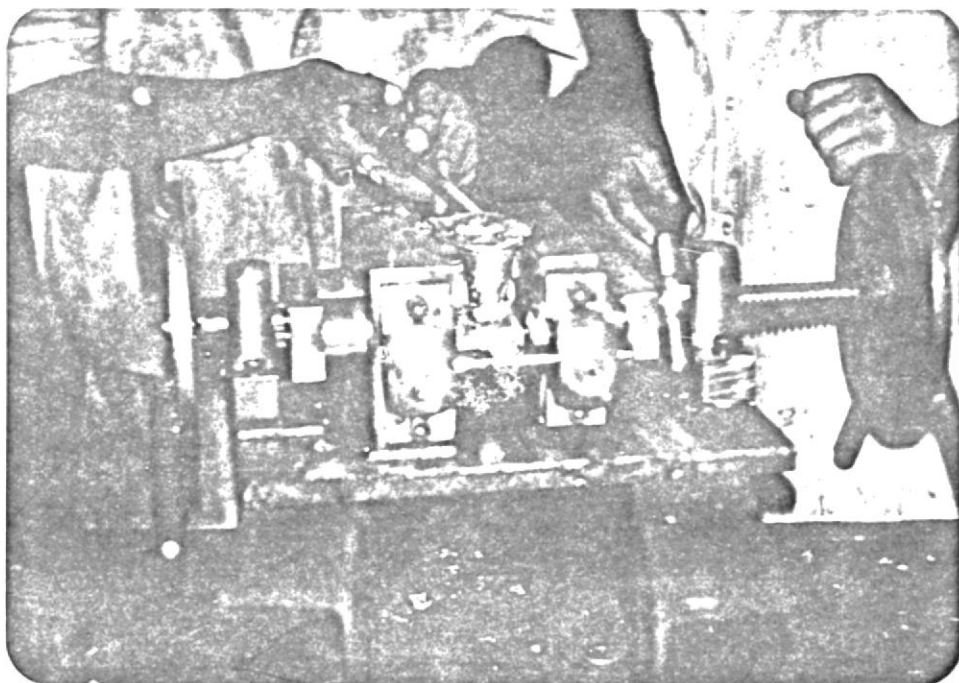


Figura N° 29

Proceso de desmoldeado, se abre
el molde para extraer los cojinetes

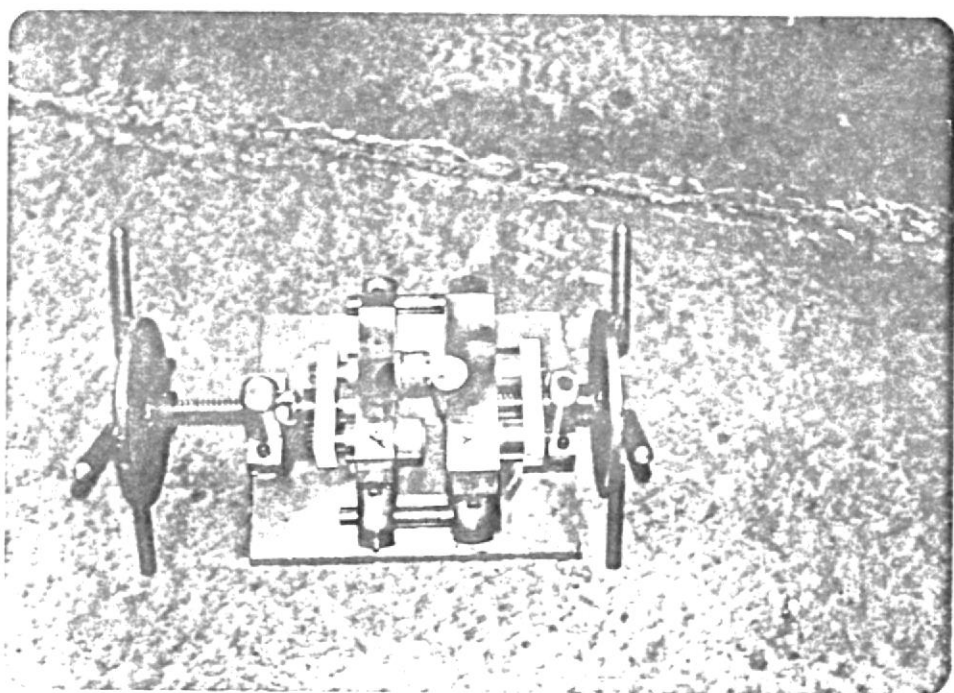


Figura N° 30

Vista del molde abierto con las piezas
en sus cámaras y la mazarota

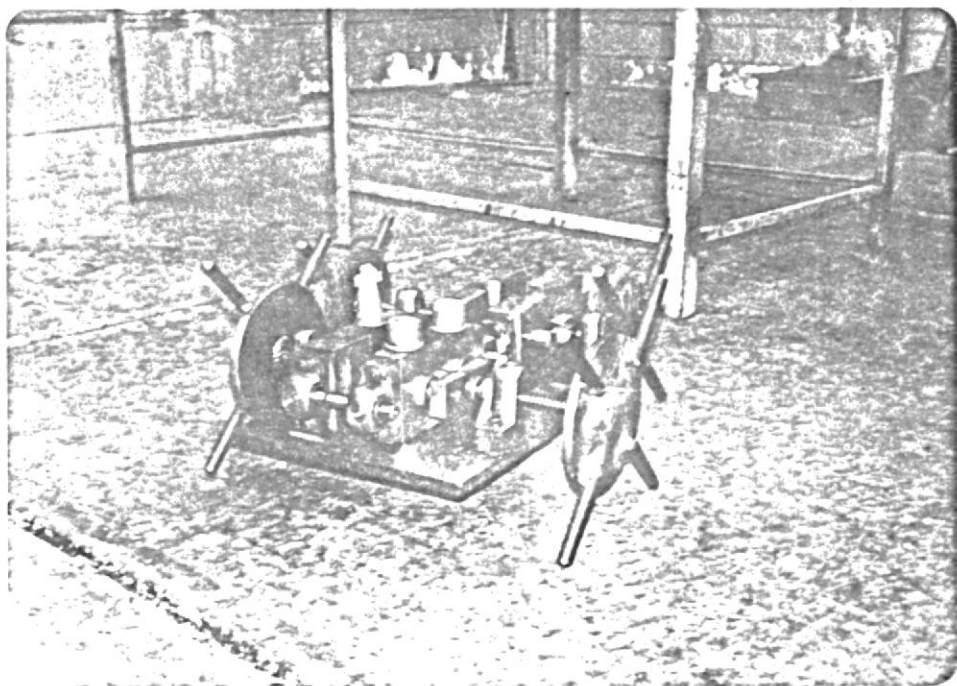


Figura N° 31

Vista de las piezas fuera del molde
e independizadas de la mazarota

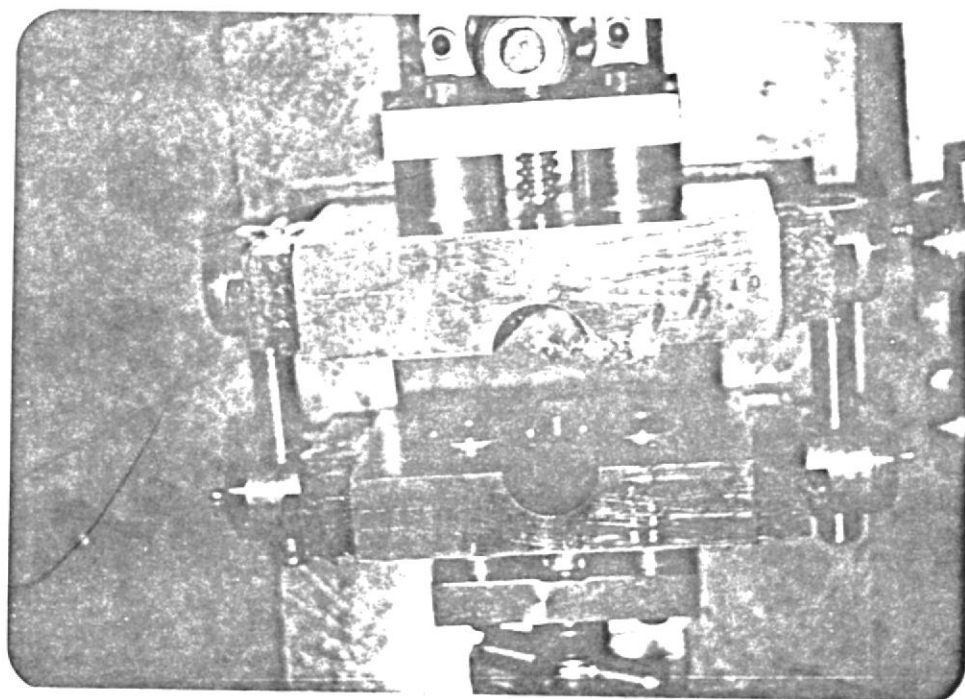


Figura N° 32

Molde visto para repetir el ciclo,
una vez que se han retirado
los cojinetes producidos

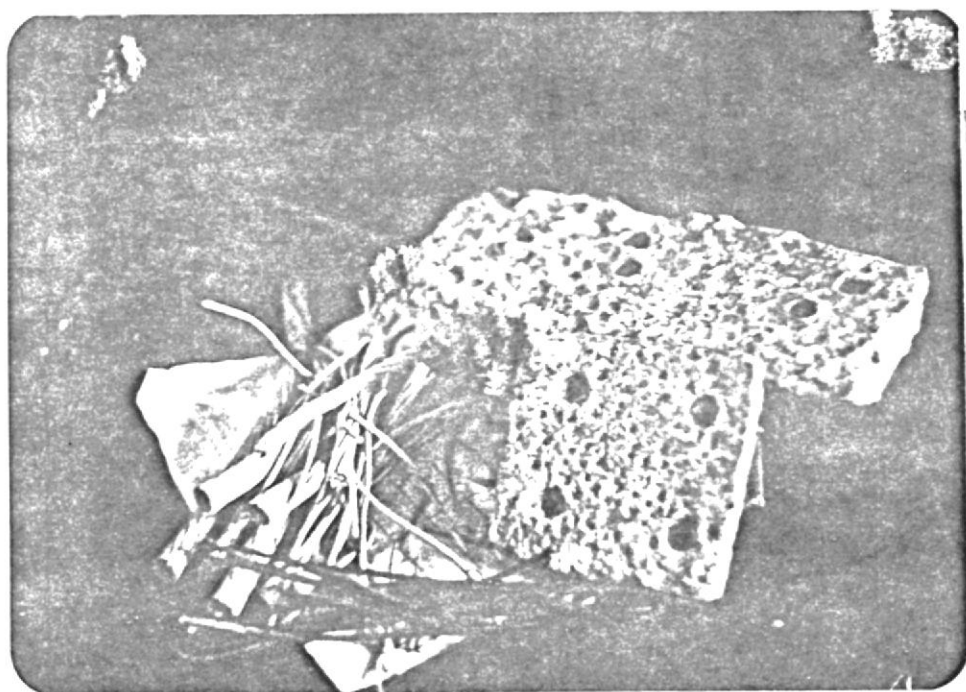


Figura N° 33

Fotografía de Chatarra de Zinc, Aluminio y Cobre
utilizado en la fabricación de las aleaciones Zamak

pleados producen aleaciones con propiedades similares.

- El método más económico de producir aleaciones Zamak es el que emplea aleaciones madre.
- Para fabricar Aleación Zamak-3 (AG40A) se debe emplear la aleación madre Zn-Al (80-20), para la aleación Zamak-5 (AG41A) se emplea la aleación madre Al-Cu-Mg (80-20-8).
- Cuando se emplea el método de fabricar aleaciones Zamak usando aleaciones madre, no se necesita realizar cálculos complicados, se debe utilizar las tablas XVI y XVII construidas para este propósito.
- Las aleaciones preparadas presentaron buena maquinabilidad, y excelente presentación superficial.

C.- RECOMENDACIONES

- Se debe seleccionar cuidadosamente la chatarra a emplear y debe usarse limpia de grasas y otras impurezas.
- Cuando se desee preparar aleación Zamak-5 (AG41A) se debe utilizar siempre aleación madre Al-Cu-Mg (80-20-8).

- Se debe buscar una instalación adecuada donde producir las aleaciones madre con excelente calidad.
- Proponer un estudio de estas aleaciones producidas reciclando chatarra en un proceso de inyección en laboratorio, diseñando una pequeña máquina de inyección.
- Proponer un estudio para la obtención de las aleaciones hipereutécticas de Zn-Al que actualmente se está desarrollando su uso.

APENDICE

ANALISIS QUIMICO

1. PREPARACION DE LA SOLUCION PRINCIPAL, DEL ENSAYO EN BLANCO Y DE LA SOLUCION BASE DE ZINC.

a) Solución Principal

Se pesan 10,00 g de muestra en forma de limaduras o virutas. Se coloca dicha cantidad de muestra en un vaso de precipitados de 250 ml de capacidad, se cubre el vaso con un vidrio de reloj, y se añaden, poco a poco, 50 ml de ácido clorhídrico concentrado, calentando moderadamente, si es necesario, para favorecer la reacción. Se añaden a continuación, poco a poco, unos mililitros de agua oxigenada de 110 volúmenes ($\approx 30\%$), para completar la disolución.

Una vez disuelta la muestra, se hierve la solución durante unos minutos, a fin de eliminar el exceso de agua oxigenada. Se diluye, con agua, y, una vez fría, se transvasa cuantitativamente a un matraz, aforado

de 100 ml, completando el volumen hasta el enrase, con agua.

Esta solución constituye la Solución C, y contiene 10 g de muestra en 100 ml.

b) Ensayo en Blanco

Simultáneamente con las muestras problema se lleva un ensayo en blanco, empleando los mismos reactivos y siguiendo el mismo proceso operatorio.

De esta forma se obtiene el ensayo en blanco C (correspondiente a la solución C).

c) Solución Base de Zn-Al 4

Dado que en las especificaciones analíticas de las aleaciones de zinc, que aparecen en la primera parte de este trabajo, el aluminio figura en contenidos del orden del 4%, la solución base se ha preparado de acuerdo con este porcentaje.

Se disuelven 96 g de zinc del 99,9995% y 4 g de aluminio del 99,9995%, con 400 ml de ácido clorhídrico

concentrado. Se evapora la solución obtenida a consistencia siruposa, se extraen las sales con 400 ml de agua, y se transvasa la solución cuantitativamente a un matraz aforado de 500 ml. A continuación se añaden 20 g de polvo de zinc, agitando de vez en cuando durante 30 minutos. Seguidamente se completa el volumen hasta el enrase, con agua, se agita para homogenizar y se filtra por filtro seco.

Esta solución contiene, aproximadamente 192 mg de zinc y 8 mg de aluminio, por mililitro.

En esta solución base se debe comprobar que los contenidos de los distintos elementos que se van a determinar están por debajo de los límites de detección buscados.

2. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL ALUMINIO

2.1 Preparación de la Solución del Ensayo

Se emplea una dilución de la Solución C (Apartado 1.a), en la proporción 1 + 49. Para efectuar esta dilución se toman, con una pipeta contrastada, 10

ml de la Solución C y se transvasan a un matraz aforado de 500 ml, completando el volumen hasta el enrase con agua.

La solución así obtenida contiene 0,2 g de muestra en 100 ml, y con ella se determinan porcentajes de aluminio comprendidos entre 0,25 y 12,5%.

2.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 49 del ensayo en blanco C (apartado 1.b).

2.3 Curva de Calibrado

En una serie de nueve matraces aforados de 100 ml de capacidad, se colocan respectivamente, 0, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 y 25.0 mg de aluminio, a partir de una solución patrón que contenga 0.5 mg por ml (*), equivalente a 0, 5, 10, 20, 50,

* Solución patrón de aluminio (1 ml $\approx$ 0,5 mg).
Se disuelven 0.500 g de aluminio de una riqueza $\geq 99,99\%$, con 50 ml de ácido clorhídrico concentrado (se añaden unas gotas de solución de cloruro de níquel al 1% para facilitar el ataque). La solución así obtenida se transvasa a un matraz aforado de 1 litro y se completa el volumen hasta el enrase, con agua.
1 ml de esta solución contiene 0.5 mg de aluminio

100, 150, 200 y 250 ppm ($\mu\text{g/ml}$) de aluminio. Se añade a cada matraz 1.0 ml de la solución base de Zn, se completa el volumen hasta el enrase, con agua, y se agita para homogeneizar.

2.4 Medidas absorciométricas y resultados

Se efectúan las medidas absorciométricas de los distintos términos de la curva de calibrado (apartado 2.3), frente al término 0 de la misma, y la de la solución de ensayo (apartado 2.1), frente al ensayo en blanco (apartado 2.2) en $\lambda = 309,3 \text{ nm}$, empleando llama óxido nitroso-acetileno.

La gráfica de trabajo correspondiente se obtiene representando las medidas absorciométricas obtenidas para los distintos términos de la curva de calibrado, frente a las ppm de aluminio presentes en cada uno de ellos (Figura 6).

Como puede observarse, la curva realizada en presencia de 0,2 g de Zn en cada término, coincide con la curva teórica, pudiendo emplearse ésta para la obtención de los resultados correspondientes.

Mediante la gráfica de trabajo, se calculan las ppm de aluminio correspondientes a las absorbancias medidas para las muestras problema.

El tanto por ciento de aluminio viene dado por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Al} = \frac{\text{ppm de aluminio encontradas}}{0,2} \cdot 10^{-2}$$

3. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL COBRE

3.1 Preparación de la solución de ensayo

Se diluye la Solución C (apartado 1.a), en la proporción 1 + 99. Para efectuar esta dilución se toman, con una pipeta contrastada, 5 ml de la Solución C, y se transvasan a un matraz aforado de 500 ml, completando el volumen hasta el enrase, con agua, y agitando para homogeneizar.

La solución así obtenida contiene 0,1 g de muestra en 100 ml, y con ella se determinan porcentajes de cobre comprendidos entre 0,1 y 2,0%.

3.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 99 del ensayo en blanco C (apartado 1.b).

3.3 Curva de Calibrado

En una serie de ocho matraces aforados de 100 ml - de capacidad, se colocan respectivamente, 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mg de cobre, a partir de una solución patrón que contenga 0.1 mg por ml (*), equivalentes a 0, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 10.0,15.0, y 20.0 ppm ($\mu\text{g/ml}$) de cobre. Se añaden a cada matraz 0.5 ml de la solución base Zn-Al 4 (apartado 1.c),se completa el volumen hasta el enrase, con agua, y se agita para homogeneizar.

3.4 Medidas Absorciométricas y resultados

Se efectúan las medidas absorciométricas de los dis-

(*) Solución Patrón de cobre (1 ml $\leq$ 0,1 mg)
Se disuelve 1,000 g de cobre electrolítico, con 10 ml de ácido nítrico diluido (1+1). Una vez finalizado el ataque, se hierve la solución para expulsar los vaores nitrosos, se transvasa cuantitativamente a un matraz aforado de 1 litro y se completa el volumen hasta el enrase, con agua. Se toman, con una pipeta contrastada, 10 ml de esta solución y se diluyen a 100 mililitros de agua.

1 ml de esta solución contiene 0,1 mg de cobre

tintos términos de la curva de calibrado (apartado 3.3), frente al término 0 de la misma, y de la solución de ensayo (apartado 3.1), frente al ensayo en blanco (apartado 3.2) en $\lambda = 324,7 \text{ nm}$, empleando llama aire-acetileno.

La gráfica de calibrado correspondiente se obtiene representando las medidas absorciométricas obtenidas para los distintos términos de la curva de calibrado, frente a las ppm de cobre presentes en cada uno de ellos (Fig. 7).

Como puede observarse, la curva realizada en presencia de 0,1 g de Zn-Al 4 en cada término, coincide con la curva teórica, pudiendo emplearse ésta para la obtención de los resultados correspondientes.

Mediante la gráfica de trabajo se calculan las ppm de cobre correspondientes a las absorbancias medidas para las muestras problema.

El tanto por ciento viene dado por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Cu} = \frac{\text{ppm de cobre encontradas}}{0.1} \cdot 10^{-2}$$

4. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL MAGNESIO

4.1 Preparación de la solución de ensayo

Se diluye la solución C (apartado 1.a) en la proporción 1 + 19. Para efectuar esta dilución se toman con una pipeta contrastada, 5 ml de la Solución C, y se transvasan a un matraz aforado de 100 ml, completando el volumen hasta el enrase, con agua, y agitando para homogeneizar.

La solución así obtenida contiene 0,5 mg de muestra en 100 ml, y con ella, se determinan porcentajes de magnesio comprendidos entre 0,002 y 0,1 %.

4.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 19 del ensayo en blanco (Apartado 1.b).

4.3 Curva de Calibrado

En una serie de nueve matraces aforados de 100 ml de capacidad, se colocan respectivamente, 0, 0.01,

0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mg de magnesio, a partir de una solución patrón que contenga 0.01 mg por ml(*), equivalentes a 0, 0.1, 0.2 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ppm ($\mu\text{g/ml}$) de magnesio. Se añaden a cada matraz 2.5 ml de la solución base de Zn-Al 4 (Apartado 1.c), se completa el volumen hasta el enrase, con agua, y se agita para homogeneizar.

4.4 Medidas Absorciométricas y resultados

Se efectúan las medidas absorciométricas de los distintos términos de la curva de calibrado (apartado 4.3), frente al término 0 de la misma, y la de la solución de ensayo (apartado 4.1), frente al ensayo en blanco (apartado 4.2); en $\lambda = 285,2 \text{ nm}$, empleando llama óxido nítrico-acetileno.

La gráfica de trabajo correspondiente se obtiene representando las medidas absorciométricas obtenidas pa-

(*) Solución patrón de magnesio 1 ml $\leq$ 0,01 mg
Se disuelve 1,000 g de Mg de una riqueza $\geq 99,99\%$, con 20 ml de ácido clorhídrico diluido (1 + 1). Se oxida con unas gotas de agua oxigenada, se hierve la solución para eliminar el exceso, se transvasa cuantitativamente a un matraz aforado de 1 litro y se completa el volumen hasta el enrase, con agua. Se toman, con una pipeta contrastada, 5 ml de esta solución y se diluyen a 500 ml, con agua.
1 ml de esta solución contiene 0,01 mg de magnesio.

ra los distintos términos de la curva de calibrado, frente a las ppm de magnesio presentes en cada uno de ellos. (Fig. 8).

Como puede observarse, la curva realizada en presencia de 0,5 g de Zn-Al en cada término, coincide con la curva teórica, pudiendo emplearse ésta para la obtención de los resultados correspondientes.

Mediante la gráfica de trabajo se calculan las ppm de magnesio correspondientes a las absorbancias medidas para las muestras problema.

El tanto por ciento de magnesio viene dado por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Mg} = \frac{\text{ppm de magnesio encontradas}}{0.5} 10^{-2}$$

DETERMINACION DE LAS IMPUREZAS

5. DETERMINACION DE PLOMO Y DE CADMIO

5.1 Método por Absorción Atómica para la Determinación del Plomo

5.1.1 Preparación de la Solución de Ensayo

Se emplea directamente la solución C (Apart.1.a)

5.1.2 Ensayo en Blanco

Se emplea directamente el ensayo en blanco (Apartado 1.b).

5.1.3 Curva de Calibrado

Se opera como se indica en el caso de los zines de primera fusión, añadiendo a cada término de la curva 50 ml de la solución base Zn-Al (apartado 1.c).

5.1.4 Medidas Absorciométricas y resultados

La gráfica de calibrado correspondiente coincide con la curva "a", representada en la Fig. 1.

5.2 METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL CADMIO

5.2.1 Preparación de la solución de ensayo

Se emplea una dilución 1 + 4 de la solución C (Apartado 1.a).

Para efectuar esta dilución se toman, con una pipe-

ta contrastada, 20 ml de la Solución C (Apartado 1.a), se transvasan a un matraz aforado de 100 ml y se completa el volumen hasta el enrase, con agua.

5.2.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 4 del ensayo en blanco C (apartado 1.b).

5.2.3 Curva de Calibrado

Se opera como se indica en el caso de los zines de primera fusión, añadiendo a cada término de la curva 10 ml de la solución base Zn-Al (apartado 1.c).

5.2.4 Medidas absorciométricas y resultados

La gráfica de calibrado correspondiente coincide con la curva "a" representada en la Fig. 2.

6. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL HIERRO

6.1 Preparación de la solución de ensayo

Se emplea una dilución 1 + 4 de la solución C (apartado 1.c).

Para efectuar esta dilución se toman, con una pipeta contrastada, 20 ml de la solución C y se transvasan cuantitativamente a un matraz aforado de 100 ml.

Se completa el volumen hasta el enrase, con agua, y se agita para homogeneizar. La solución así obtenida contiene 2 g de muestra en 100 ml.

6.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 4 del ensayo en blanco C (Apartado 1.b).

6.3 Curva de Calibrado

Se opera como se indica en el caso de los zines de primera fusión, añadiendo a cada término de la curva 10 ml de la solución base Zn-Al 4 (apartado 1.c)

6.4 Medidas Absorciométricas y resultados

Se opera como se indica en el apartado 3.2.4 (caso de zines de primera fusión). La gráfica de calibrado correspondiente se representa en la Fig. 9.

7. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL COBRE

7.1 Preparación de la solución de ensayo

Se emplea una dilución 1 + 4 de la solución C (apartado 1.a).

Para efectuar esta dilución se toman, con una pipeta contrastada, 20 ml de la solución C (apartado 1.a), se transvasan a un matraz aforado de 100 ml y se completa el volumen hasta el enrasedo, con agua.

7.2 Ensayo en Blanco

Se emplea una dilución 1 + 4 del ensayo en blanco C (apartado 1.b).

7.3 Curva de Calibrado

Se opera como en el caso de los zines de primera fusión, añadiendo a cada término de la curva 10 ml de la solución base Zn-Al 4 (apartado 1.c).

7.4 Medidas absorciométricas y resultados

Se opera como se indica en el caso de los zines de primera fusión.

La gráfica de calibrado correspondiente se representa en la Fig. 10.

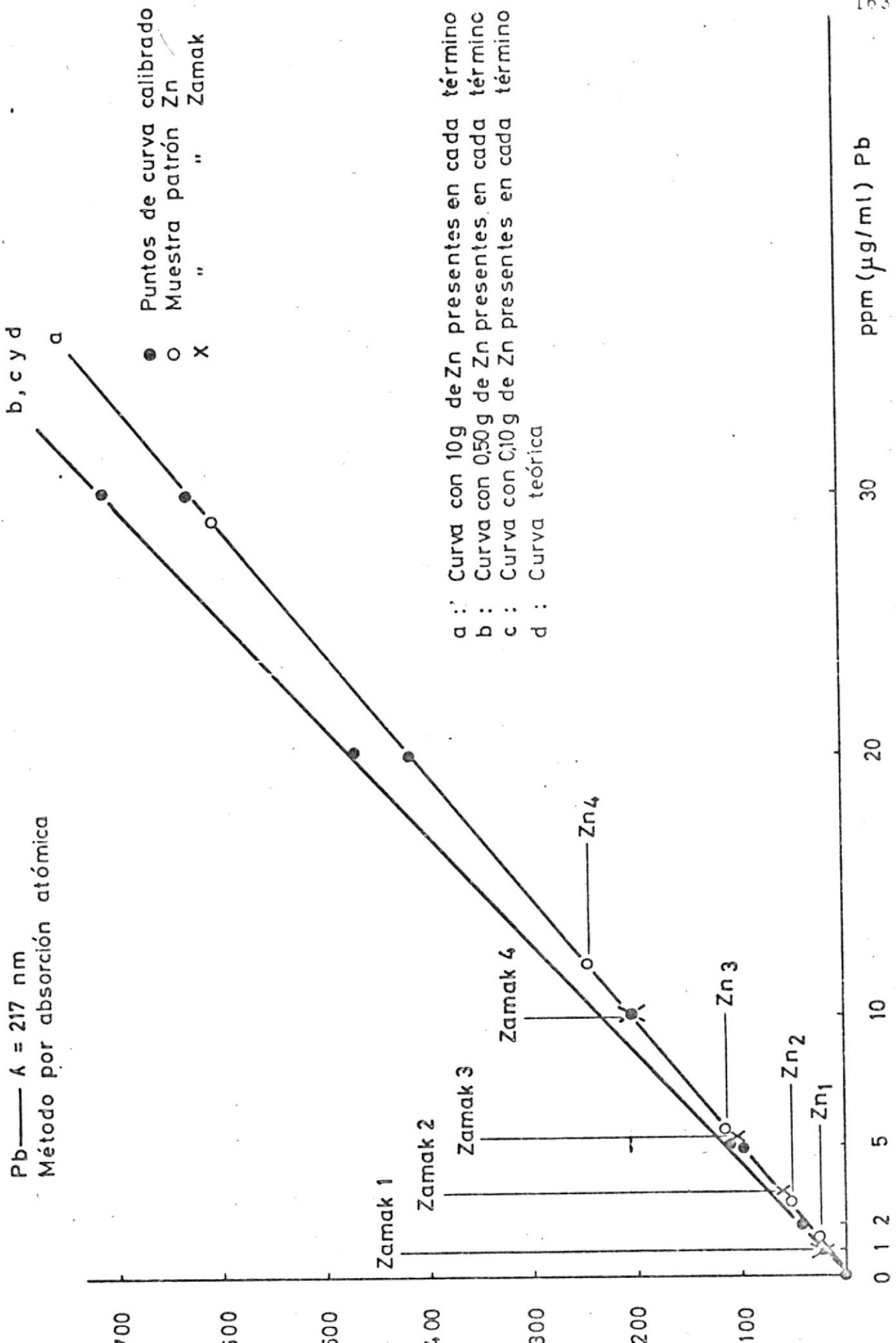
Mediante la gráfica de trabajo, se calculan las ppm de cobre correspondientes a las absorbancias medidas para las muestras problema.

El tanto por ciento de cobre viene dado por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Cu} = \frac{\text{ppm de cobre encontradas}}{2} \cdot 10^{-2}$$

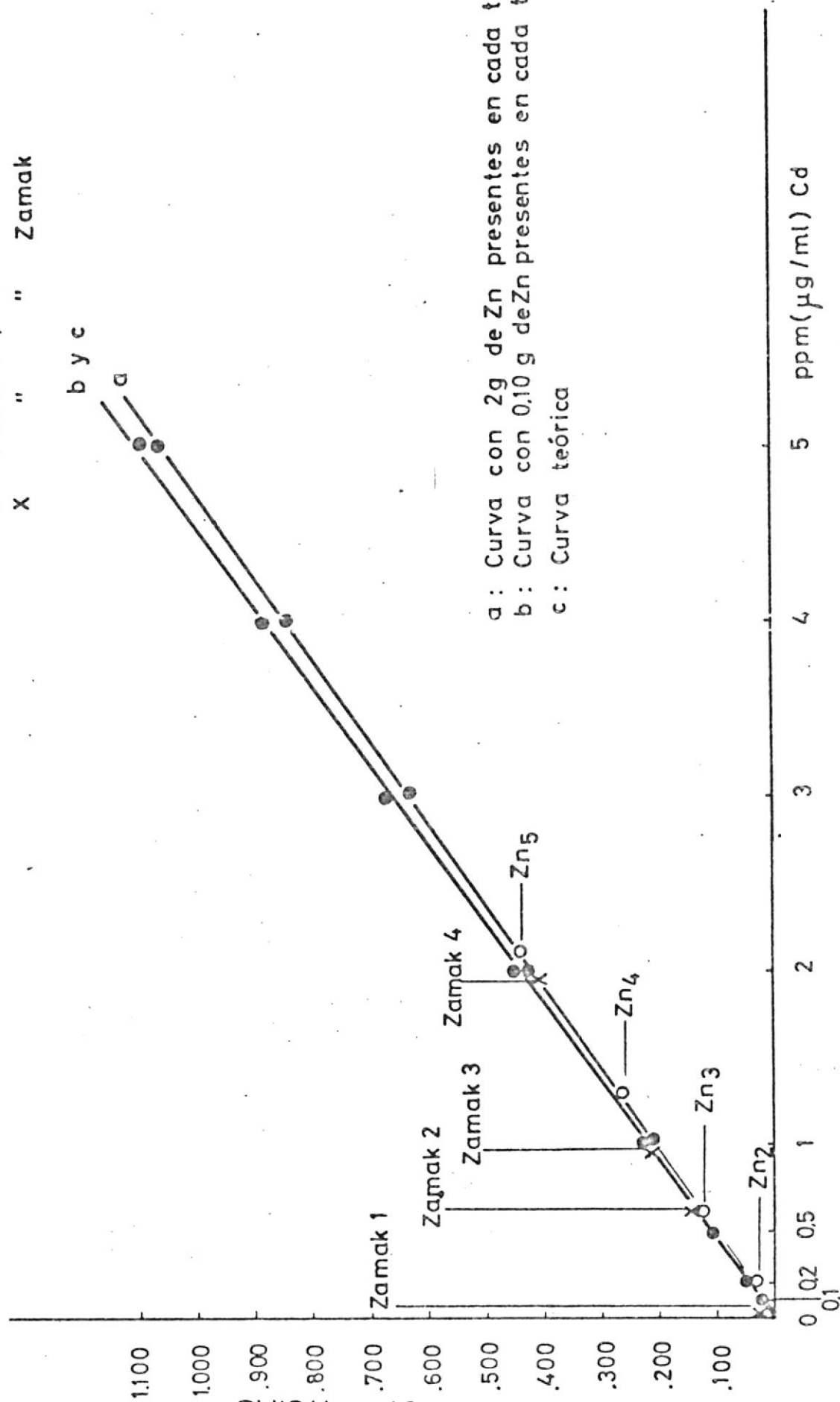
8. METODO POR ABSORCION ATOMICA PARA LA DETERMINACION DEL
ESTADNO

Se toman 50 ml de la solución C (Apartado 1.a), equivalentes a 5 g de muestra y se opera como se indica para los zines de primera fusión.



Cd— $\lambda = 229 \text{ nm}$
Método por absorción atómica

● Puntos de curva calibrado
○ Muestra patrón Zn
x " " Zamak



Fe— $\lambda = 248 \text{ nm}$
Método por absorción atómica

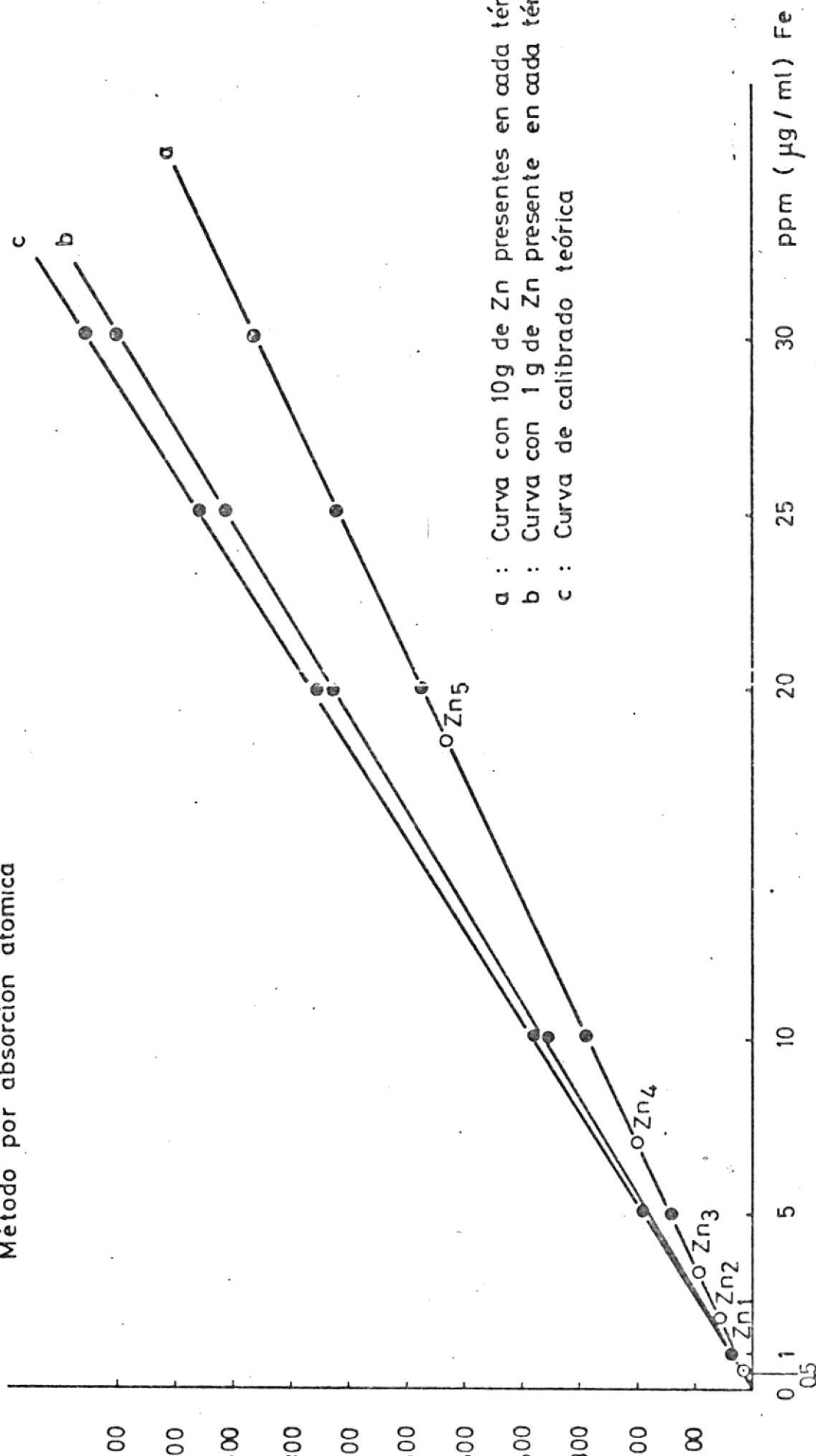


FIGURA N° 4

● Puntos curva calibrado
○ Muestra patrón Zn.

Cu— $\lambda = 324 \text{ nm}$

Método por absorción atómica

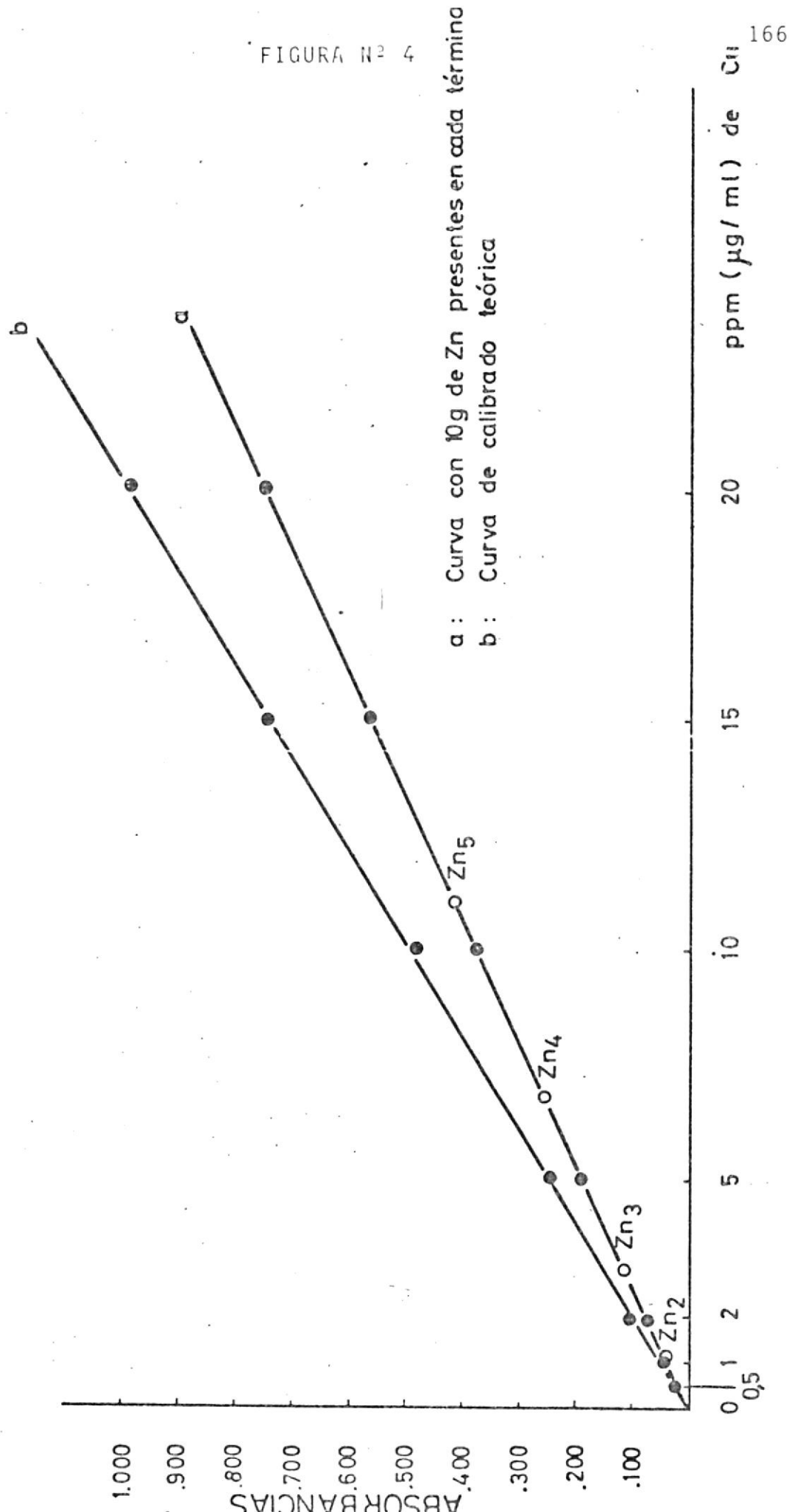
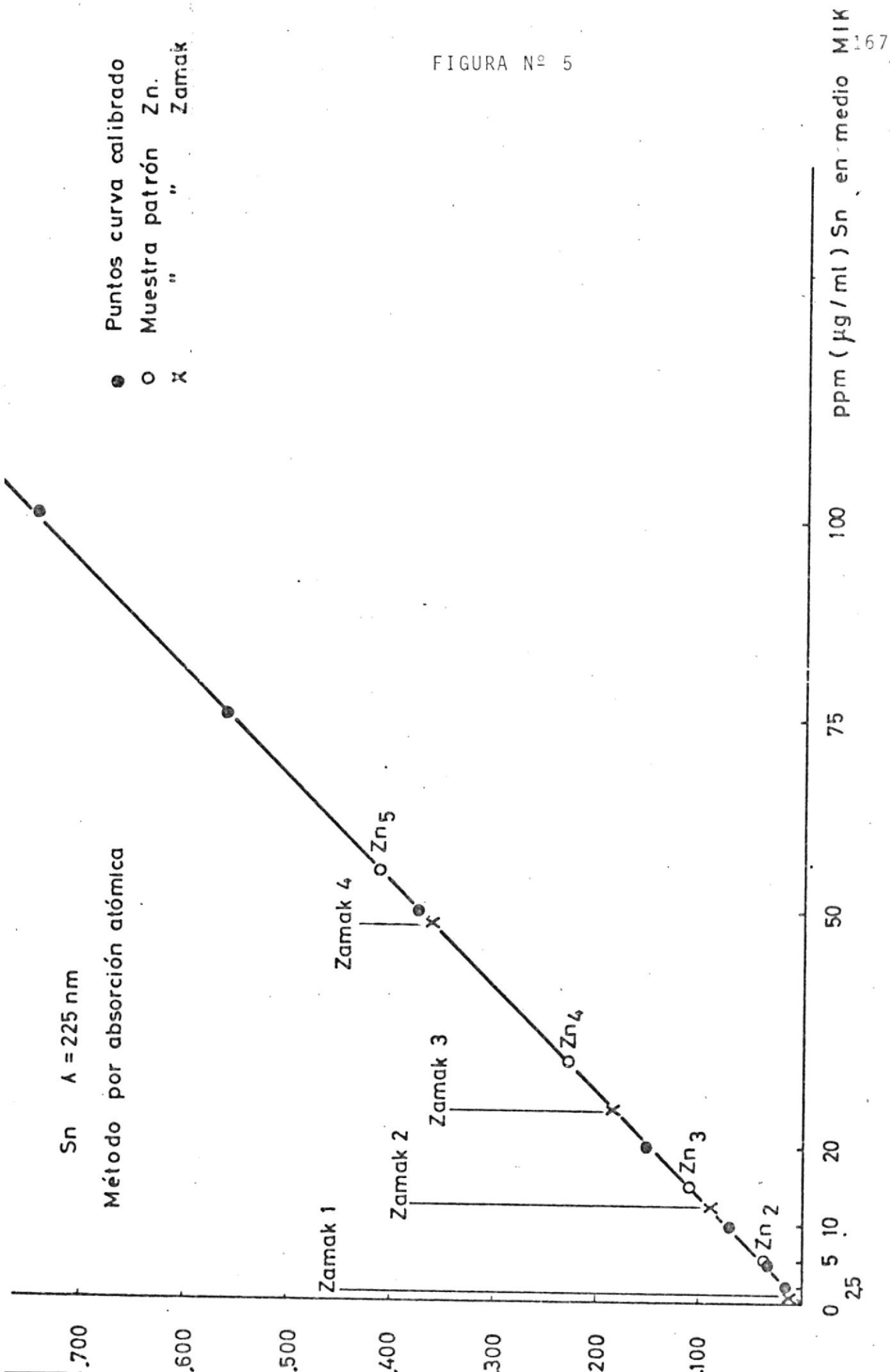


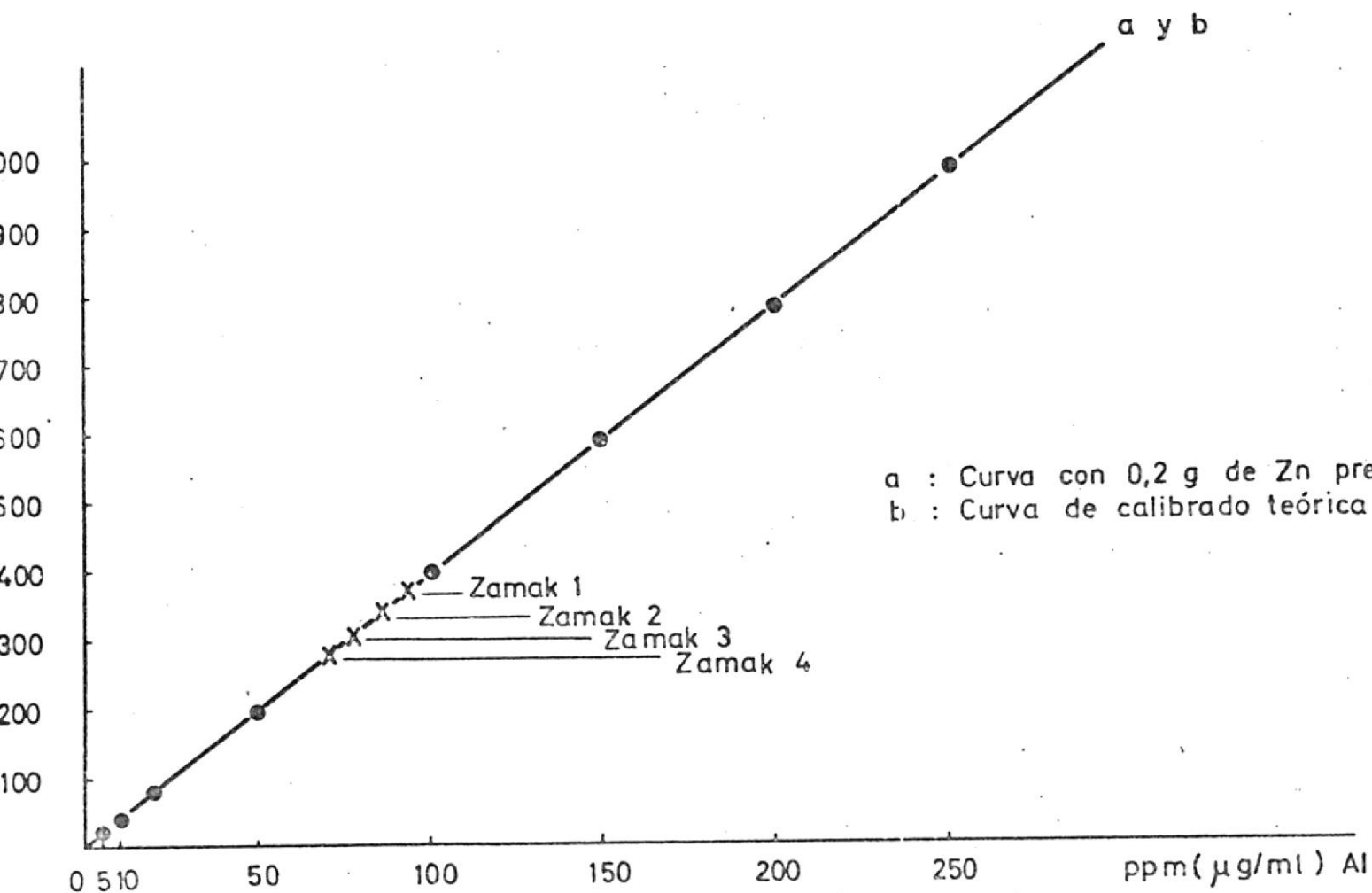
FIGURA N° 5



Al — $\lambda = 309 \text{ nm}$

Método por absorción atómica

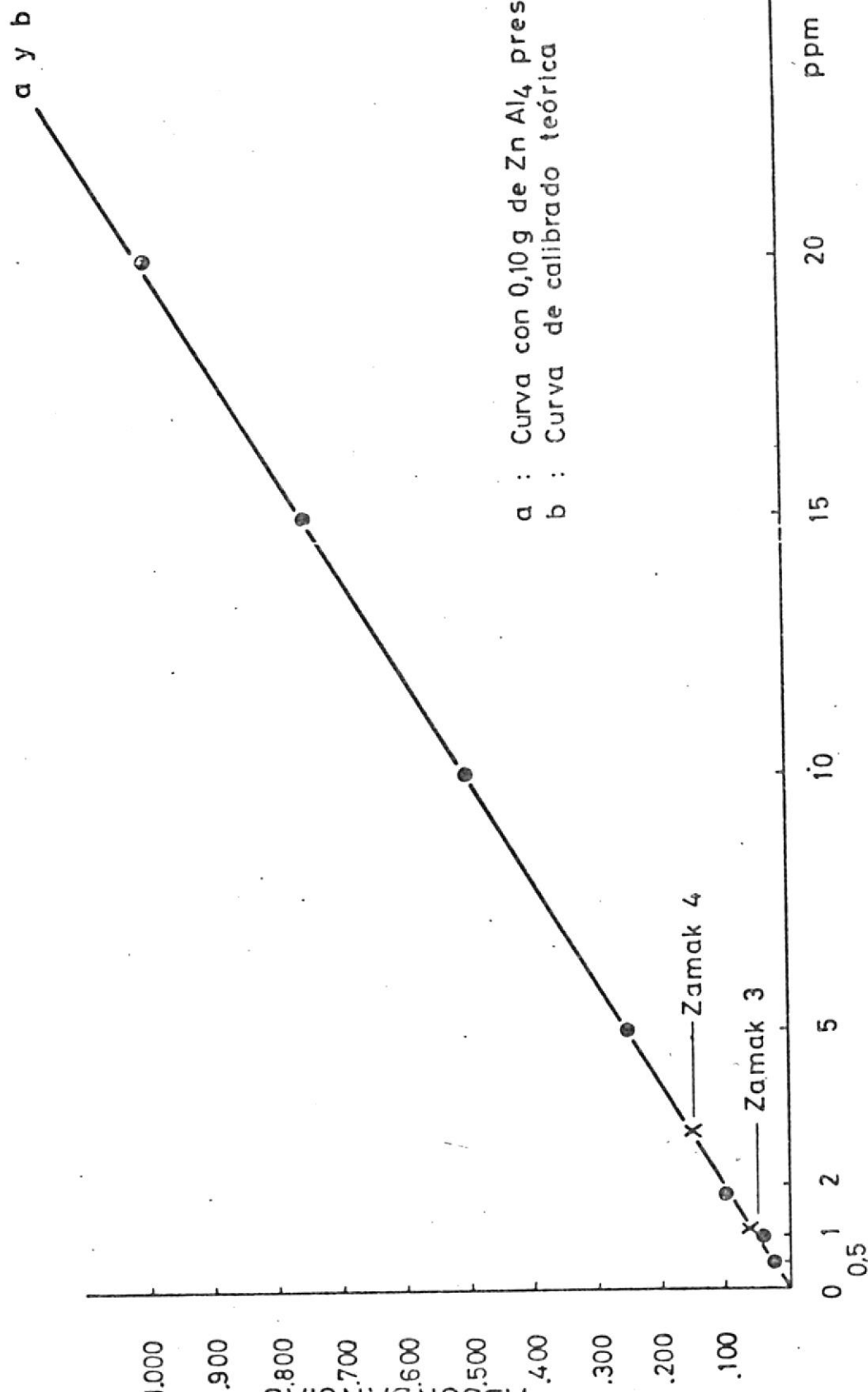
- Puntos curva calibrado
- x Muestra patrón Zamak.

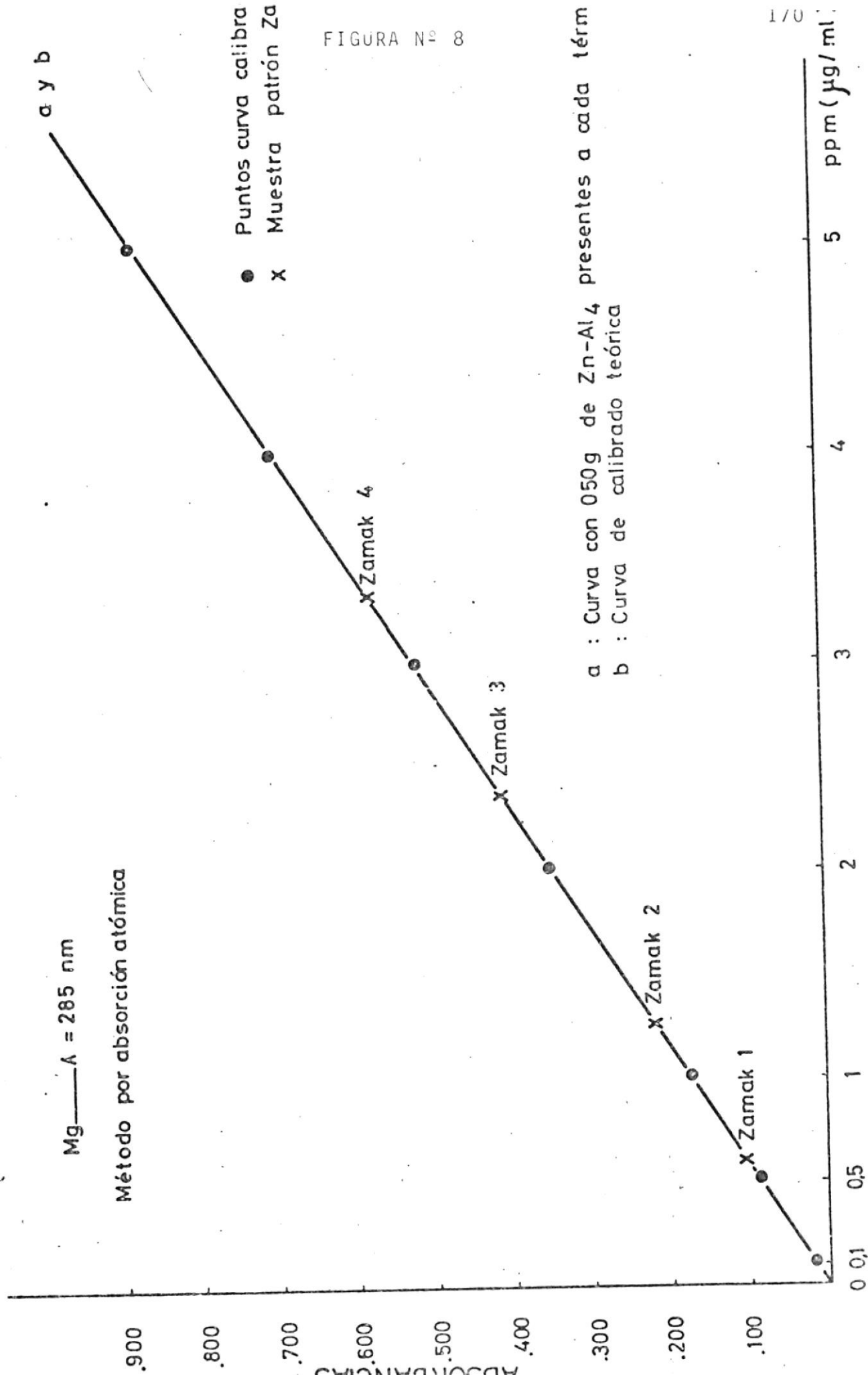


Puntos curva calibrado
 ● x
 Muestra patrón Zamak

Cu — $\lambda = 324 \text{ nm}$

Método por absorción atómica





Fe— $\lambda = 248 \text{ nm}$

Método por absorción atómica

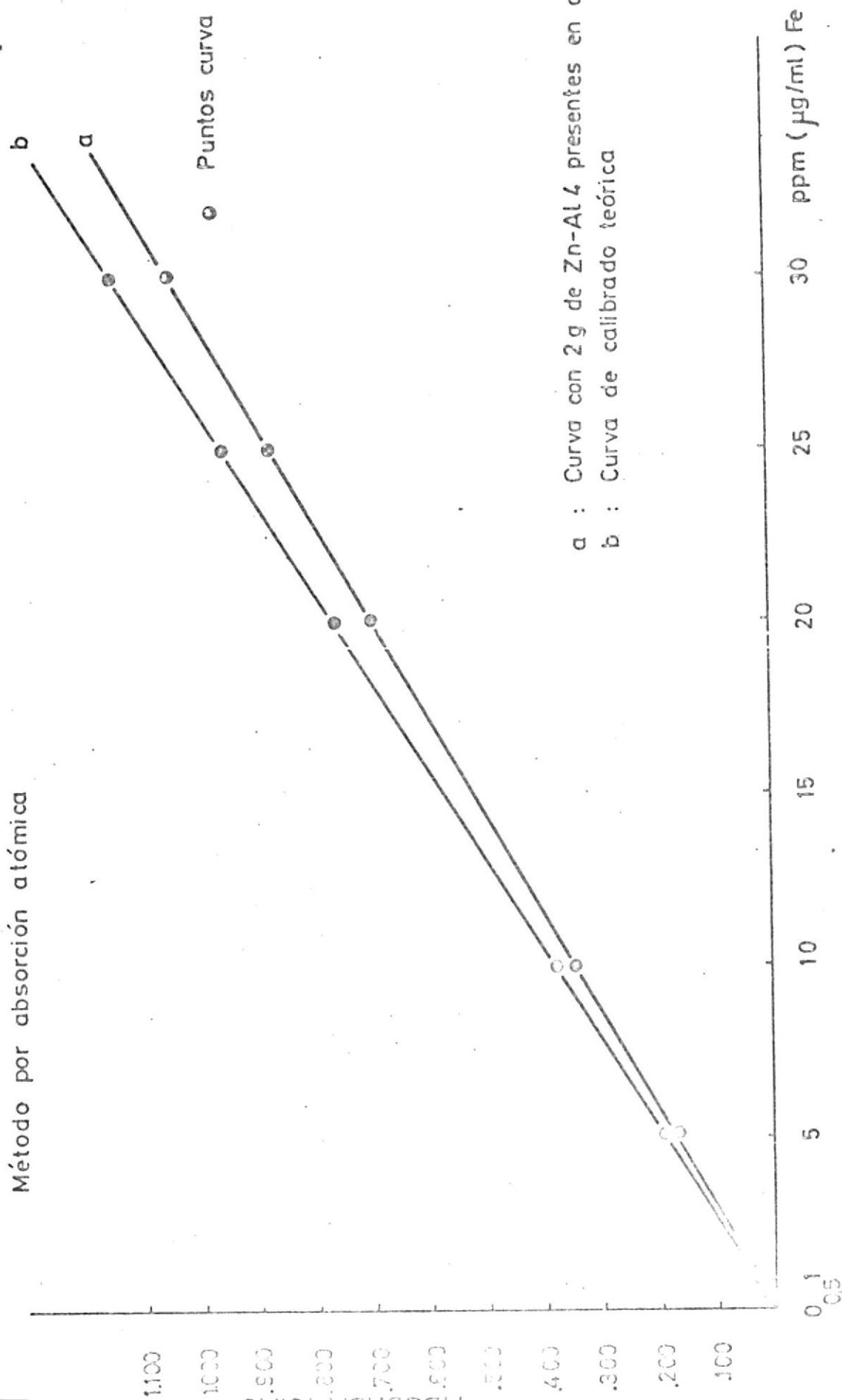
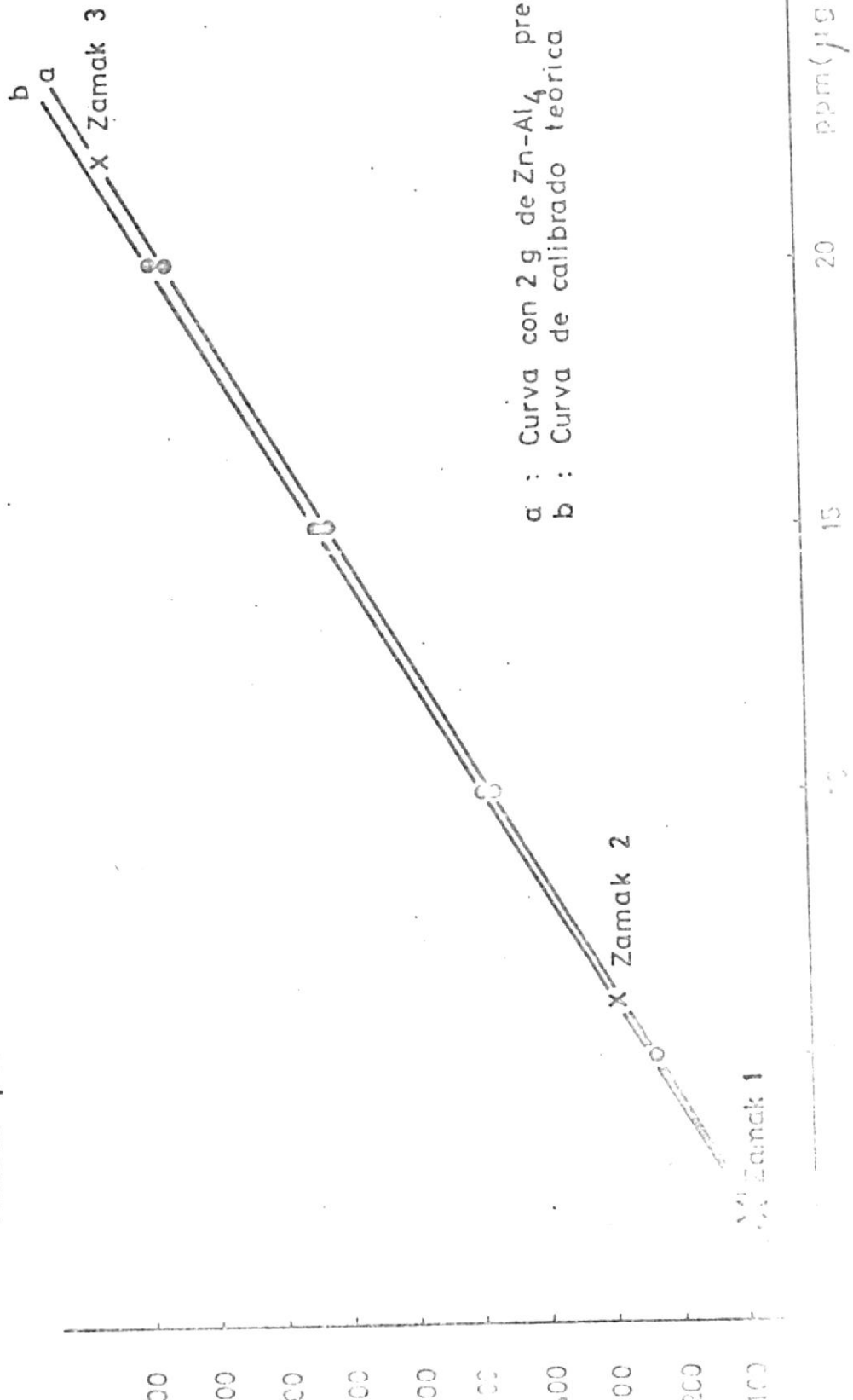


FIGURA N- 10

● Puntos curva calibradas.
 x Muestra patrón Zamak.

Cu — $\lambda = 324 \text{ nm}$

Método por absorción atómica



BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALLEN DELL K., Metalurgy Theory and Practice, American Technical Society, 1977, Chicago.
- 2.- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Atlas of Microestructures of Industrial Alloys, Edition of 1973, Metals Parts, Ohio, Volumen 7.
- 3.- AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS, Die-Cast Metals Ligth Metals and alloys (Including electric conductors, American Socitye for Testing and Materials, 1967, Book N° 6, pp. 43-47.
- 4.- ANDERSON, Omunds et Seller, Metals Technology, 6 N° 6, 1939, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Technical Publication, N° 1106, 14 p.
- 5.- ANDERSON ET WERLEY, Metals and Alloys, N° 5, 1934, pp. 97-99.
- 6.- AVNER S.H., Introducción a la Metalurgia Física, Mc-

Graw Hill, México 1975, Capítulo XII.

- 7.- BELL, Edwards et Meaer, Transactions of the Canadian Mining and Metallurgical Society, 55, 1952, p.262-271.
- 8.- BIEDERMANN A. y HASSEKIEFF L.M., Tratado Moderno de Fundición de Metales no Férreos, Hornos Eléctricos y Ensayo de los Metales, José Montejó Editor, Buenos Aires, 1955, Capítulo I.
- 9.- BIEDERMANN A. y HASSEKIEFF L.M., Tratado Moderno de Fundición de Metales no Férreos, Hornos Eléctricos y Ensayo de los Metales, José Montejó Editor, Buenos Aires, 1955, Capítulo III.
- 10.- BRAUER ET PIERCE-Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 22 N° 1, 1922, p. 13.
- 11.- BRAY JOHN L., Metalurgia Extractiva de los Metales no Férreos, Ediciones Interciencia, Madrid, 1962.
- 12.- BAUMIESTER III T. AVALLONE E. y BAUMIESTER T., Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, Mc-Graw Hill Latino-

americana S.A., Bogotá, 1982, Capítulo VI.

- 13.- BRITISH STANDARDS 1004, 1955 Zinc Alloys for Die Castings and Zinc Alloy Die Castings. British Standards Institution.
- 14.- LEANDRO DE LUIS MARTIN, Fundición a Presión de Metales, Cendes, Guayaquil, 1982, 6 pp.
- 15.- LONBERG, Zeitschrift für Metallkunde, 34, N° 4, 1942, p. 73-80.
- 16.- MAZAK Manual Imperial Emelting Corporation Limited, 1952.
- 17.- PANSERI C., Manual de Tecnología de las Aleaciones Ligeras para la elaboración Plástica, Editorial Científica, Barcelona 1968, pp. 40-49.
- 18.- ROBERTS, Journal of the Institute of Metals, 1952-1953 p. 301-309.