



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

**EMPLEO DE LA ALEACION DE ALUMINIO SAE 323
EN LA ELABORACION DE CAJAS DE VELOCIDADES**

TESIS PROFESIONAL

SILVANO TRINIDAD RAMOS MARTINEZ

INGENIERIA QUIMICA METALURGICA

México, D. F.

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO.

Presidente, Prof.: KURT H. NADLER GUNDESEHIMER
Vocal Prof.: Ma. EUGENIA NOGUEZ AMAYA
Secretario Prof.: JOSE CAMPOS CAUDILLO
1er. Suplente Prof.: JOSE FCO. HERRERA CASTAÑEDA
2do. Suplente Prof.: MARCELINO MADRIGAL DUARTE

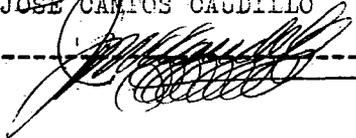
Sitio donde se desarrollo el tema:

CROUSE HINDS DOMEX, S. A. DE C. V.

Sustentante:

SILVANO TRINIDAD RAMOS MARTINEZ


Asesor del tema:

JOSE CAMPOS CAUDILLO


A MIS PADRES:
CON CARINO Y GRATITUD
POR SU ESFUERZO Y APOYO.

A MIS HERMANOS:
CON EL DESEO DE QUE SIRVA DE
INCENTIVO EN SU BUSQUEDA CONTINUA.

CON CARINO PARA:
MARTHA LOPEZ FUENTES.

CON RESPETO Y ADMIRACION PARA:
ING. MARCELINO MADRIGAL DUARTE
ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO
ING. ROBERTO ROMO SANTILLAN
SR. VICTOR MANUEL CARREON
SR. MORRIS COHEN BEJAR

MI AGRADECIMIENTO MAS SINCERO AL
JURADO ASIGNADO POR LA AYUDA QUE
TAN DESINTERESADAMENTE PRESTO EN
LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

I N D I C E

	Pág.
Introducción	1
CAPITULO I Generalidades	3
1.- Características generales de las aleaciones Al-Si	3
2.- Diferencias y similitudes del moldeo en arena de fundiciones de aluminio y otros metales	4
3.- Influencia de las impurezas sobre la estructura del eutéctico Al-Si	6
CAPITULO II Pruebas efectuadas	8
1.- Análisis Químico	8
1.1 Lingotes comprados y moldeo	8
1.2 Especificaciones comparables	8
1.3 Propiedades físicas y mecánicas	10
2.- Inspección de defectos de fundición	10
3.- Análisis dimensional del producto	13
4.- Tratamiento Térmico	15
4.1 Causas que obligaron a efectuar el tratamiento térmico	15
4.2 Ventajas favorables de la aleación SAE - 323 que permitieron efectuar el tratamiento térmico	15

4.3 Condiciones de moldeo y explicación del tratamiento térmico efectuado	16
4.4 Equipo utilizado	18
5.- Prueba de dureza	23
5.1 Requerimientos y especificaciones señaladas para la determinación de la dureza del producto	23
5.2 Precauciones tomadas al checar la dureza	23
6.- Prueba de tensión	24
6.1 Especificaciones solicitadas y procedimiento efectuado	24
6.2 Condiciones de aceptación de las probetas para prueba de tensión	26
7.- Prueba de porosidad	27
7.1 Generalidades	27
7.2 El efecto del hidrógeno en fundiciones de aluminio	28
7.3 Medida del contenido de gas	29
7.4 Determinación del grado de porosidad en el producto elaborado	30
8.- Análisis Metalográfico	30
CAPITULO III Resultados de las pruebas efectuadas	32
Resultados de las pruebas efectuadas correspondientes al 1 ^{er} lote de cajas de velocidades	33

	Resultados de las pruebas efectuadas correspondientes al 2 ^o lote de cajas de velocidades	53
	Resultados de las pruebas efectuadas correspondientes al 3 ^{er} lote de cajas de velocidades	72
CAPITULO IV	Discusión y conclusiones	90
	Bibliografía	96

I N T R O D U C C I O N

I N T R O D U C C I O N

Esta tesis está destinada a cubrir en forma general dos aspectos de suma importancia: uno de carácter técnico y el otro de carácter nacional. El primero, porque al publicar esta tesis se busca que las personas que se encuentren involucradas en el inicio técnico de un proyecto, que comprenda la elaboración de un producto cuya especificación química sea cubierta por la designación de la aleación de aluminio SAE 323, tema de esta tesis, dispongan de la referencia que les sirva de base para mejorar la calidad de su producto evitándoles al mismo tiempo muchos imprevistos. Así mismo, lo antes mencionado no descarta la posibilidad de aplicar el procedimiento general de operaciones básicas que constituyen el plan de trabajo a desarrollar a la elaboración de productos de aleaciones varias de aluminio u otro tipo de metales propios de trabajar en una fundición. El segundo, porque considero que los conocimientos y experiencias publicadas en esta tesis contribuyen a encauzar a la industria de la fundición, lográndose al mismo tiempo un desarrollo tecnológico que en el futuro próximo inmediato permita reducir o sustituir completamente importaciones, lográndose así un mayor equilibrio en nuestra economía nacional.

Así mismo, confío en que la tesis contribuirá al mejoramiento de productos elaborados en las fundiciones que utilicen como materia prima la aleación SAE 323 en beneficio de una mayor producción y de un mejoramiento en las características de los bienes adquiridos por el consumidor.

En esta tesis se estudia el proceso para la producción de cajas de velocidades, mismas que se obtendrán mediante moldeo en arena en verde.

En el Capítulo I se citan algunas generalidades acerca del tipo de moldeo utilizado, así como ventajas y adelantos más recientes de la aleación de aluminio que se utiliza para la elaboración del artículo.

En el Capítulo II se especifican las pruebas a efectuar al producto a fin de evaluar la calidad del mismo, contando para ello con requisitos solicitados por la compañía consumidora, mismos que se dan en cada prueba.

Posteriormente, en el Capítulo III se evalúan los resultados de los diferentes lotes producidos, determinándose mediante dicho análisis los cambios que deberán ser efectuados en la elaboración del lote inmediato posterior. El orden de estudio de las pruebas efectuadas en cada lote no se altera y será el especificado en el Capítulo II.

En total se estudiaron tres lotes, dividiéndose el lote III en 2 secciones (A y B respectivamente), determinándose que el lote III -sección B cumple con los requisitos de calidad solicitados por la compañía consumidora, motivo por el cual se da por concluido dicho estudio.

En el Capítulo IV se discute el proceso de producción del artículo, estableciéndose las operaciones básicas que lo constituyen y además se dan las conclusiones de aspecto técnico a las cuales condujo dicho estudio.

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

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

1.- Características Generales de las aleaciones Al-Si.

Las aleaciones del tipo Al-Si son muy utilizadas en la fundición de piezas debido a que presentan tendencia a disminuir el efecto de contracción que se presenta en el cambio de estado líquido-sólido. Este efecto favorable lo otorga el silicio (*) que aumenta de volumen durante la solidificación, evitando problemas de fisuras y rechupes originados durante la variación dimensional del producto que se sucede al efectuarse el proceso de solidificación y posterior enfriamiento de la pieza. También posee una excelente colabilidad, por lo cual son utilizados en la elaboración de piezas lo mismo gruesas que delgadas, de formas complejas o de espesores variables como es el caso de las cajas de velocidades cuya elaboración está implícita en el tema de esta tesis.

Las aleaciones Al-Si son susceptibles de trabajar cualquiera que sea el método de moldeo (moldeo permanente, arena en -verde-, inyección a presión), siendo esta otra ventaja. Sin embargo, la estructura peculiar o característica cambia de un método a otro al variar las condiciones de enfriamiento principalmente, lo cual repercute directamente en las propiedades mecánicas del producto.

Podemos afirmar que en general las piezas en estado de colado presentan no muy buenas características de maquinado, alargamiento y resiliencia reduciéndose gran parte de sus aplicaciones industriales; sin embargo, son susceptibles de tratar térmicamente y mejorar sus pro

propiedades mecánicas haciéndolas por consiguiente aplicables a la elaboración de productos, como es el caso de las cajas de velocidades.

(*) Referencia bibliográfica núm. 8.

2.- Diferencias y similitudes del moldeo en arena de fundiciones de aluminio y otros metales.

El método de moldeo en arena en -verde- fue el utilizado en la elaboración de las cajas de velocidades, siendo necesario manejar cuidadosamente la arena y prestar gran atención en la preparación y control de la misma para obtener este producto en buen estado.

Algunas técnicas de moldeo en arena de otros metales no son aplicables a las fundiciones de aluminio, como es el soplado de la placa modelo con petróleo efectuado en moldes complicados moldeados en -verde-, pues en este caso presenta problemas al ser fuente de hidrógeno y por ende gaseado del metal fundido y posterior problema de porosidad de la pieza.

En el moldeo en arena húmeda la temperatura del metal fundido a vaciar debe controlarse cuidadosamente, pues el contacto metal líquido-molde genera vapor acuoso y posteriormente la formación de óxido de aluminio y liberación de hidrógeno, originando problemas de segregaciones y gaseado.

Se presentan problemas semejantes al moldeo de otros metales en arena en -verde-, como es el caso de la obstrucción de los gases que se encuentran en los canales de distribución o que son generados durante la operación de vaciado por el rebozamiento del metal líquido

por encima del canal de alimentación, accidente que es causa frecuente de piezas defectuosas en las fundiciones rústicas donde el vaciado es efectuado todavía por el obrero directamente.

Para el moldeo en arena, el correcto dimensionamiento de las entradas (alimentadores) es muy importante; el metal líquido no debe penetrar en el molde a presión, y para evitar tal defecto la entrada del molde debe ser algo mayor que en el canal de distribución. De esta forma se consigue reducir en la entrada la presión de colada y el metal fluye tranquilo al interior del molde impulsando ante sí el aire que encuentra. Si por el contrario el metal fluye al interior del molde formando remolinos y a presión, arrastrará partículas de arena de la superficie del molde formando gran cantidad de inclusiones de arena y de gas en la pieza colada.

En el moldeo a mano o semicontinuo (uso de máquina moldeadora por vibración y presión), al efectuarse la elaboración del canal de alimentación es aconsejable que en la parte inicial y final del mismo la arena se alise o pula ligeramente, pues el no efectuar una limpieza perfecta del molde origina que la arena desprendida y arrastrada durante el vaciado del metal líquido se deposite en cualquier otra parte del molde dejando un hueco en la pieza colada. Igualmente, para el moldeo en -verde- puede especificarse como regla general que los cortes de entrada son mayores que para el moldeo en seco, ya que en el moldeo en -verde- el metal líquido que penetra es enfriado más rápidamente por la arena húmeda, lo cual provoca una solidificación más rápida exigiendo una entrada mayor para conseguir que el molde llene-

sin problemas y todos los oantos vivos queden perfectos.

3.- Influencia de las impurezas sobre la estructura del eutéctico ---

Al-Si.

La estructura del eutéctico depende en gran parte de algunos - elementos cuyo efecto es determinante aún encontrándose estos en muy-pequeñas cantidades; este es el caso del fósforo y del sodio.

El fósforo cuando se encuentra presente en las aleaciones --- Al-Si, aún en cantidades pequeñas del orden de p.p.m. forma con el - aluminio ALP que actúa como germen en la recristalización del silicio favoreciendo la presencia de silicio primario en las aleaciones de - composición eutéctica o ligeramente hipoeutécticas. El silicio se presenta repartido al azar y en forma de plaquetas gruesas (estructura - acicular o granulada); el sodio, en cambio, obliga a que el eutéctico se presente bajo la forma de fibras muy finas y bien repartidas en la matriz del aluminio que aparece como glóbulos; a esta estructura se - denomina estructura modificada o globular.

El efecto del sodio parece ser doble: el primero es la fija -- ción del fósforo en un compuesto cuaternario P-Al-Na-Si que elimina - los germenos de fosfuro de aluminio (ALP), y el segundo es la modifi-cación del proceso de crecimiento del silicio que se desarrolla preferentemente bajo la forma de láminas y adquiere la forma de fibras.

La influencia del eutéctico en aleaciones del tipo de la SAE - 323 cuyo contenido de silicio es de 6.5-7.5% y de magnesio de 0.20- - 0.40% es poco apreciable; sin embargo, cuando se busca una estabili-- dad en las piezas, las estructuras laminar y fibrosa son las más favou

rables y de estas dos la última es la más apropiada.

Las mejores propiedades mecánicas son obtenidas con las estructuras laminar y fibrosa, pues ha sido determinado en estudios recientes que la estructura acicular proporciona alargamientos muy bajos sobre todo en condiciones de moldeo en arena donde las velocidades de enfriamiento son bajas.

El efecto del sodio de modificar la estructura de solidificación de las aleaciones Al-Si haciendo que las agujas de silicio primario desaparezcan y afinando el eutéctico no es permanente y sólo dura una media hora. El sobrecalentamiento y la refusión también originan que este efecto modificador desaparezca; tal hecho obliga a buscar otros elementos como el Estroncio (Sr) y el Antimonio (Sb) siendo menos aplicable el último, pues en aleaciones de aluminio que contienen Magnesio forma un compuesto muy frágil con este ($Mg_3 Sb_2$). También en presencia de pequeñas cantidades de sodio el antimonio no consigue afinar el eutéctico por la formación del compuesto $Na_3 Sb$, pero en aleaciones donde estos elementos no están presentes, en porcentajes del 0.2% el Antimonio surte un efecto modificador del eutéctico recomendable.

Los trabajos más recientes sobre la modificación del eutéctico Al-Si se han centrado en el efecto permanente del Estroncio en la modificación y algunos autores reportan valores máximos para la carga de rotura y alargamiento con cantidades de Sr comprendidas entre 0.04-0.08% Sr y según ellos con contenidos mayores que 0.06% aparece una nueva fase rica en silicio y estroncio cuya fórmula puede ser $Sr Si_2$.

P R U E B A S

E F E C T U A D A S

P R U E B A S E F E C T U A D A S

Las pruebas efectuadas fueron establecidas en base a las especificaciones o requisitos solicitados para el producto y fueron:

1. Análisis Químico.
2. Inspección de defectos de fundición.
3. Análisis dimensional del producto.
4. Tratamiento Térmico.
5. Dureza Brinell.
6. Resistencia a la tracción.
7. Porosidad.
8. Análisis Metalográfico.

A continuación se establecen las especificaciones para cada una de ellas, así como también una explicación del por que se realizan.

1. Análisis Químico.

- 1.1 Lingotes comprados y moldeo.

Se verifica que el análisis químico se encuentre dentro de norma tanto en el lingote recibido como en la carga del horno y este último reporte se considera representativo de la composición química de las cajas de velocidades y probetas para prueba de tracción que se obtengan del vaciado de dicha carga en los moldes de arena en -verde-; es decir, arena húmeda, previamente elaborados.

- 1.2 Especificaciones comparables.

La aleación de aluminio SAE 323 es aproximadamente igual a la-

aleación de aluminio 356 modificada (designación comercial) y a la - ASTM SG 70 A. La especificación de los porcentajes especificados en cada norma puede apreciarse en la Tabla I.

T A B L A I

Especificaciones comparables de la aleación SAE 323

SAE 323		356 modificada (designación comercial)		ASTM SG 70 A	
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%
Al	restante	Al	restante	Al	restante
Si	6.5-7.5	Si	6.5-7.5	Si	6.5-7.5
Fe	0.6	Fe	0.5-0.8	Fe	0.6
Cu	0.25	Cu	0.30 máx.	Cu	0.25
Mn	0.35	Mn	0.4 máx.	Mn	0.35
Mg	0.2-0.4	Mg	0.4-0.6	Mg	0.2-0.4
Cr		Cr		Cr	
Ni				Ni	
Zn	0.35	Zn	0.4 máx.	Zn	0.35
Ti	0.25	Ti	0.3 máx.	Ti	0.25
Sn				Sn	
otros c/u.	0.05		0.10 máx.	otros c/u.	0.05
total	0.15		0.50 máx.	total	0.15

1.3 Propiedades físicas y mecánicas.

(Abarcadas por información de diseño para piezas sin tratamiento térmico).

Propiedades físicas típicas para piezas de fundición en arena-en -verde-.

contracción usada para diseño	$\frac{5}{32}$	$\frac{\text{in}}{\text{ft}}$	
densidad	0.097	$\frac{\text{lbs}}{\text{in}^3}$	$(2.685 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$
dureza Brinell (500 kg de carga-penetrador de 10 mm)	62	BHN	
resistencia a la tensión final	21 000	$\frac{\text{lbs}}{\text{in}^2}$	$(1476.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$
punto de cedencia (0.2% offset)	14 500	$\frac{\text{lbs}}{\text{in}^2}$	$(1019.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$
alargamiento (en 2 in)	2%		

La aleación SAE 323 es considerada como muy buena en cuanto a su resistencia a la corrosión; además no produce chispas y no es magnética lo cual representa características favorables en el producto elaborado (cajas de velocidades). Esta aleación es clasificada como regular en lo referente a su propiedad de maquinabilidad.

2. Inspección de defectos de fundición.

En este caso se especifican exclusivamente aquellos problemas originados en la fundición y que se presentan durante el proceso de limpieza o inspección final. Las leyendas más comunes para este tipo de defectos son:

espesor delgado.-

Este problema puede ser ocasionado por el desgaste excesivo de la placa modelo debido al uso constante; así mismo, puede ser ocasionado por una colocación incorrecta de los corazones.

corrimiento externo.-

Este corrimiento puede ser longitudinal y/o transversal. El problema no necesariamente tiene que ser producido por el herramental y se sucede más por que la máquina o el operario originan desplazamientos entre la tapa y la base del molde.

arrastre de arena.-

Se sucede por mala compactación del molde, por falta de cohesión de la arena, por falta de limpieza del molde y/o del corazón durante su colocación y repercute en un acabado exterior malo del producto.

acabado interior defectuoso.-

Se presenta cuando el corazón está mal terminado, lo cual puede deberse a desajustes en la máquina que se utilizan en su elaboración o en el caso en que se requieren dos o más corazones y estos tienen que pegarse; la zona en que se realiza dicha operación ocasiona -

también dicho defecto.

exceso de material.-

Se presenta cuando se sucede fractura del molde (ejm. al ser el molde de difícil elaboración), o cuando el corazón presenta zonas con falta de material.

falta de material.-

Se puede originar este defecto por arrastres de arena debido a falta de limpieza del molde y/o del corazón; o bien, por fractura del molde el llenado del mismo en las secciones que presentan salientes angulosas (en este caso se tienen ambos defectos: falta de material y exceso de material donde se deposita y rompe la arena que constituye el molde respectivamente).

exceso de esmerilado.-

Se presentan rebabas en la línea de partición del molde, en las uniones del corazón (al constituirlo dos partes pegadas) y en las uniones del corazón con el molde; por consiguiente, el esmerilado en estas secciones dependerá de las exigencias que cada pieza tenga en

falta de esmerilado.-

su proceso de maquinado y ensamble Es el problema contrario al anterior y se presenta en las secciones del producto donde no llevará maquinado, siendo su acabado final el producido durante la etapa de esmerilado. Este defecto aún cuando no es crítico repercute en la presentación del artículo en forma desfavorable.

corrimiento del corazón.-

Dicho defecto se puede presentar por mala colocación del corazón por parte del moldeador, por excesiva velocidad de vaciado del metal fundido o por altura excesiva de los alimentadores (bebedores) presentándose por tal motivo presión metalostática elevada. Al presentarse este defecto, la mayoría de las veces se encuentra que las causas fueron sumadas.

3. Análisis dimensional del producto.

Se cumple este requisito por inspección de doce cotas críticas de control que cumplen con el requerimiento de efectuar una inspección dimensional básica del producto y más esporádicamente (una pieza

por lote mandado a tratamiento térmico) se realiza una inspección al 100% de las dimensiones del producto (Layout) para detectar en primera instancia variaciones dimensionales de placa modelo y/o caja de corrazones, las cuales se reflejarán en las dimensiones del producto. Esta última prueba cumple con el requisito de efectuar una inspección dimensional total del producto.

Las doce cotas críticas de control se especifican en el Plano-General a fin de ser identificadas fácilmente y con frecuencia corresponden a los puntos de apoyo del producto durante la operación de maquinado.

T A B L A I I

Cotas críticas de control para efectuar la inspección dimensional básica requerida

Cota Crítica número	Dimensión especificada en el Plano General (mm)
1	75.0 ± 0.8
2	radio 13.0 ± 0.8
3	19.0 ± 0.8
4	65.0 ± 0.8
5	68.0 ± 0.8
6	56.0 ± 0.8
7	13.5 ± 0.8
8	263.0 ± 1.5
9	140.0 ± 1.0
10	4.5 ± 0.8
11	229.0 ± 1.5
12	6.0 ± 0.8

4. Tratamiento Térmico.

4.1 Causas que obligaron a efectuar el tratamiento térmico.

Las especificaciones solicitadas para el producto, en lo referente a las propiedades mecánicas, no se cumplían en las piezas de fundición moldeadas en arena en -verde-, por tal motivo se hizo necesario efectuar un tratamiento térmico a las cajas de velocidades. El tratamiento térmico efectuado óptimo se obtuvo por prueba y error.

Las especificaciones mecánicas solicitadas para el producto fueron:

Resistencia a la tensión límite 30 000 $\frac{\text{lbs}}{\text{in}^2}$ (2109.21 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)

Dureza Brinell (carga 500 kg-pe
netrador de 10 mm) 70-90 BHN

La dureza solicitada permite facilidad en el maquinado del producto. También se solicitó efectuar pruebas para determinar el grado de porosidad que presentan las cajas de velocidades.

4.2 Ventajas favorables de la aleación SAE 323 que permitieron efectuar el tratamiento térmico.

Es bien sabido que algunos elementos o grupos de elementos, los cuales mediante tratamiento térmico imparten mejoras en las propiedades mecánicas, son principalmente Cu, Mg, Cu más Mg, Cu más Mg más Si, Mg más Si, Mg más Zn, elementos mismos que se encuentran contenidos en la aleación SAE 323 y por ello susceptibles de formar tales combinaciones. Además, sin ser muy estrictos, podemos observar que la aleación SAE 323 es en primera instancia básicamente una aleación Al-Si cuyo diagrama de equilibrio ostenta una zona de solubilidad sólida

parcial, como es observable en la figura I, con disminución de la solubilidad sólida con el descenso de la temperatura. Estas características permiten efectuar a la aleación SAE 323 un tratamiento térmico que es conocido y aplicado en muchas aleaciones de aluminio y cuyos nombres más comunes para describirlo son:

Tratamiento térmico de solubilización

Tratamiento térmico de envejecimiento

Tratamiento térmico de dureza por precipitación

4.3 Condiciones de moldeo y explicación del tratamiento térmico efectuado.

Las tres operaciones fundamentales que constituyen el tratamiento térmico son:

a) Calentamiento de solubilización

b) Temple de retención de solución sólida

c) Calentamiento de precipitación

a) Condiciones de moldeo y calentamiento de solubilización.

Cuando la aleación SAE 323 es moldeada en arena en -verde- y se solidifica bajo las condiciones normales de operación de este tipo de fundiciones, los elementos aleantes enunciados con anterioridad, se combinan con el aluminio o con cualquier otro en cierta proporción para formar compuestos, los cuales debido a las condiciones de solidificación se distribuyen alrededor de los límites de grano (heterogeneidad estructural); por ello, el calentamiento de solubilización permite que gran parte de estos compuestos se solubilicen en la matriz sólida de aluminio. Esta temperatura de calentamiento es determinada, -

de tal manera que la máxima solubilidad sólida sea lograda sin que se presente fusión de alguno de los compuestos posibles y/o del eutéctico Al-Si. La cantidad de los compuestos y distribución de los mismos que no entren en solución sólida, repercuten en las propiedades obtenidas determinándose la necesidad de un control estricto del tratamiento térmico. Cuando las fundiciones son calentadas a estas temperaturas, las fases intermedias metaestables de las estructuras de colada se disuelven lentamente y difunden dentro de la matriz de aluminio dicha rapidez de difusión se incrementa rápidamente con la temperatura.

b) Temple de retención de solución sólida.

Si efectuada la solución de los compuestos a la temperatura correcta, o sea, sin que se presente fusión incipiente se permite un enfriamiento lento, los constituyentes disueltos precipitan otra vez en forma basta y gruesos. La distribución de los precipitados, aún cuando es más uniforme que en un principio, no habrá conseguido el efecto óptimo esperado de la operación de solubilización. A fin de obtener que los elementos aleantes practicamente se queden en el mismo lugar bajo condiciones de temperatura ambiente, el tiempo de transferencia-horno de solubilización-medio de enfriamiento deberá ser el mínimo posible. Un tiempo de transferencia máximo permisible es 25 segundos.

Otros factores de importancia a considerar son la severidad del medio de enfriamiento y el grado de agitación en el mismo, dado a la canastilla que soporta las cajas de velocidades. El medio de enfriamiento utilizado en esta operación es agua fría.

c) Calentamiento de precipitación.

Esta operación es denominada también envejecimiento y consiste en provocar la precipitación de las fases intermedias metaestables de la solución sólida sobresaturada, mediante un calentamiento crítico.-- Estos precipitados se encuentran dispersos en todo el material y como se sabe actúan evitando el libre deslizamiento entre planos cristalin-- nos, aumentando por consiguiente la dureza y el límite elástico.

Las propiedades mecánicas dependen del tamaño de las particu-- las de la solución precipitadas, mismas que son controladas por la - temperatura y el tiempo empleadas. En general, puede decirse que se - cumple que a menor temperatura de envejecimiento el tiempo necesario- para obtener una dureza dada se incrementa.

4.4 Equipo utilizado.

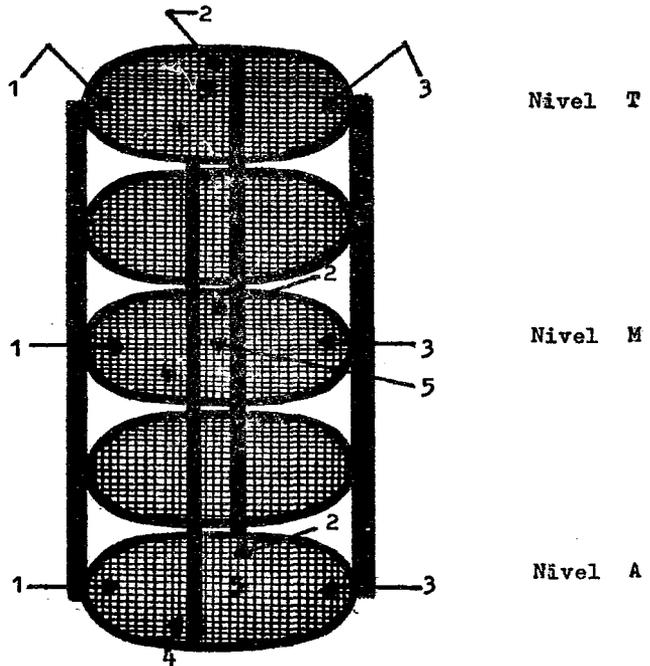
El horno utilizado para efectuar la operación de solubiliza--- ción es del tipo de cámara de recirculación de aire calentado por -- gas. El aire es forzado a una recirculación rápida para obtener un ca-- lentamiento veloz y uniforme, así como también para evitar zonas ca-- lientes. El buen control de la temperatura se hace necesario contro-- lándose por medio de termopares los cuales transmiten las medidas de- temperatura a un registrador, obteniéndose en esta forma una gráfica- que permite obtener el rango de variación de temperatura; un rango de variación cerrado ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) respecto a la temperatura del tratamiento - de solubilización es necesario.

La temperatura debe controlarse en toda la cámara del horno, - por lo cual, se colocarán termopares que permitan efectuar dicha ope-

ración.

La canastilla en la cual se colocan las cajas de velocidades-- que sufren el tratamiento térmico es circular, con cinco niveles como se indica en la figura 2.

F I G U R A 2



Se consideran niveles de estudio los enunciados con las letras A, M y T, o sea, los extremos y el centro. En cada nivel se consideraran cinco posiciones de estudio y son puntos de referencia para evaluar las pruebas de:

a) Uniformidad de temperatura de la carga que sufre tratamiento térmico, mismo que se determina por colocación de pastillas que soportan una temperatura determinada, misma que al ser rebasada ocasionará fusión de la pastilla. La evaluación del calentamiento uniforme de la cámara del horno es muy importante y no debe pasarse por alto.

b) Pruebas para efectuar estudios metalográficos y de dureza.- Se toman 15 cajas de velocidades que cubran las posiciones de los 3 niveles de estudio de la canastilla; son estudiadas más ampliamente, por ello llevarán marcado un código que permita su identificación inmediata y sencilla. Estas 15 cajas de velocidades llevan en su interior amarradas 3 probetas para pruebas de tensión, obtenidas por colada en moldes de arena en -verde-. La forma y características dimensionales de las probetas para prueba de tensión deben ser especificadas con claridad. Las probetas llevan también marcado el código para permitir su identificación.

La capacidad del horno es de 125 cajas de velocidades, mismas que cubren el área total de las cinco rejillas que forman la canastilla especificada con anterioridad.

El recipiente que contiene el medio de enfriamiento (agua fría) es de forma cilíndrica cuyas dimensiones son: diámetro = 2 mts y -

altura = 3 mts. El nivel del agua es aproximadamente de 2.70 a 2.80 - mts.

Es importante observar la variación existente para la temperatura en varios puntos de localización del recipiente conteniendo el medio de enfriamiento, a fin de evitar causas de enfriamiento irregular.

La operación de envejecimiento se lleva a cabo en una mufla cuya cámara es rectangular, con dimensiones 2 X 3 para el ancho y largo respectivamente. El control de temperatura se efectúa por medio de un termopar conectado a un registrador automático. El control de temperatura, así como la uniformidad de calentamiento, son críticos y deben cuidarse en extremo para obtener resultados comparativos confiables - entre los diferentes lotes pilotos o de prueba.

ALEACION DE MOLDEO ALUMINIO - SILICIO

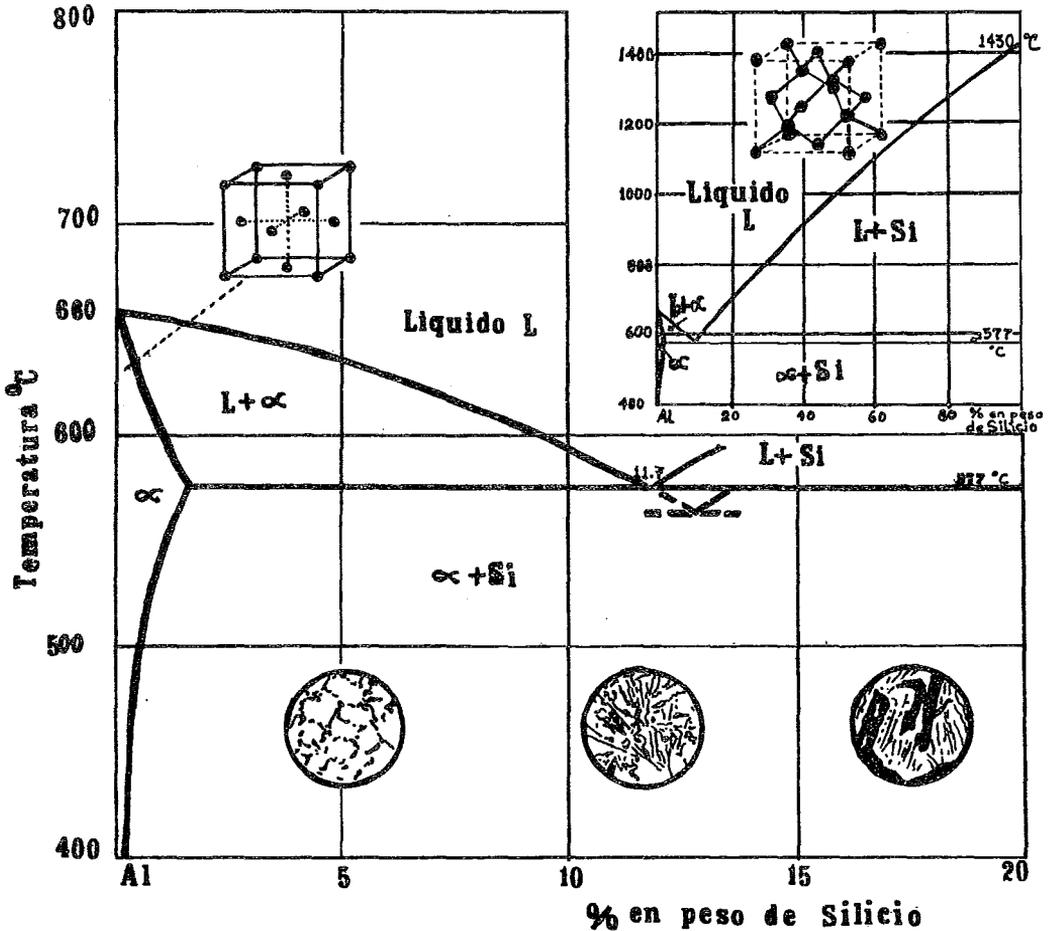


Fig. 1 - Por adiciones de Cu y/o Mg como elementos aleantes, la resistencia a la tensión y la dureza Brinell pueden incrementarse; como resultado del tratamiento térmico a que son susceptibles estas aleaciones. La estructura eutéctica puede afinarse mediante el uso de elementos (o sus sales); tales como el Na o el Sr.

5. Prueba de dureza.

5.1 Requerimientos y especificaciones señaladas para la determinación de la dureza del producto.

La especificación para el producto referente a su dureza superficial fue de 70-90 BHN, condición que no se cumplía en el producto sin tratamiento térmico, haciéndose necesario efectuarlo para lograr dicho requerimiento.

La zona para checar la dureza en las cajas de velocidades se señala con claridad en el Plano General y corresponde a la parte inferior de la cara posterior de las mismas. El objeto de esta prueba es determinar tanto la resistencia a la penetración como el grado de mecanización del producto.

5.2 Precauciones tomadas al checar la dureza.

Las precauciones tomadas al efectuar esta prueba fueron:

a) La superficie sobre la que se determina la dureza debe cumplir con el requisito de ser plana y perpendicular a la carga.

b) La superficie sobre la que se determinará la dureza debe estar limpia de óxidos y grasas.

c) La distancia del borde de la pieza al centro de la huella debe ser mayor que $4d$, donde d representa el diámetro de la huella marcada por el penetrador en la superficie del material.

d) El espesor de la pieza debe ser mayor que $2d$ en la zona en que se determine la dureza.

Se considera que el material que constituye al producto es homogéneo, sin embargo, a fin de determinar si existe diferencia de du-

reza de una localización a otra para una misma caja de velocidades, se efectúa una prueba consistente en seccionar un número dado de cajas de velocidades con el objeto de obtener secciones diferentes de ellas, a las cuales se les checa la dureza para observar si existe variación apreciable de dureza.

Por último, especificamos que la carga aplicada al checar la dureza fue de 500 kg y el tiempo de aplicación de la misma de un minuto. Las condiciones establecidas para el checado de la dureza cumplen con el requisito de que $\frac{D}{4} < d < \frac{D}{2}$; a fin de considerar los resultados confiables en esta relación, d es el diámetro de la huella y D el diámetro del penetrador de 10 mm utilizado.

6. Prueba de tensión.

6.1 Especificaciones solicitadas y procedimiento efectuado.

La especificación a cumplir para esta prueba es $\geq 30\ 000$ -- lbs/in². Esta prueba se efectúa como se ha enunciado ya en probetas obtenidas por colada (previa elaboración de los moldes de arena en --verde-) y a las cuales posteriormente se les ha tratado térmicamente, conjuntamente con el lote de cajas de velocidades correspondientes. Las probetas se colocan para el tratamiento térmico en las posiciones de estudio establecidas con anterioridad. El número de posiciones de estudio total de la canastilla en la cual se colocan cajas de velocidades y probetas es de 15, correspondiendo a cinco posiciones de estudio para cada uno de los niveles A, M y T ya descritos.

Cada caja de velocidades situada en posición de estudio lleva-

tres probetas para tracción, por ello el total de probetas para efectuar pruebas de tensión por lote que sufre tratamiento térmico es de 45 probetas, las cuales se reparten en la forma siguiente: 15 probetas (una de cada posición de estudio) se entregan a la compañía consumidora, 3 probetas (una de cada nivel de la canastilla) se entregan a la compañía que efectúa el tratamiento térmico, y las 27 probetas restantes se entregan a la compañía que produce el artículo.

La finalidad de efectuar este reparto de las probetas, es para que las diferentes empresas efectúen sus propios estudios y/o verifiquen los resultados obtenidos por las otras compañías.

Las probetas para prueba de tensión y su caja de velocidades correspondiente, deben ser de la misma composición química en cada uno de los casos; esto quiere decir que en la fundición se tendrán que obtener probetas y cajas de velocidades de cada carga vaciada en los moldes, y posteriormente efectuar una selección a fin de determinar las cajas que estarán en posiciones de estudio durante el tratamiento térmico, para finalmente colocar en ellas 3 probetas para pruebas de tensión que cumplan con el requisito de ser de la misma composición química que la caja de velocidades en la cual están colocadas.

Un estudio más profundo implicaría, por ejemplo, que las 15 cajas de velocidades situadas en posiciones de estudio y las 45 probetas para prueba de tensión fueran de la misma composición química, o sea, obtenidas de la misma carga del horno de fusión; sin embargo, la limitación de la capacidad del horno de fusión utilizado (horno de crisol basculante de 500 kg de capacidad) evita efectuar dicha prueba

bajo las condiciones establecidas con anterioridad, obligando a operar con cajas de velocidades obtenidas de cargas diferentes y cuidando únicamente que la composición química de la aleación estuviera dentro de norma.

El código de control que permitirá la identificación y posición de estudio de las cajas de velocidades y probetas para prueba de tensión, se especifica en seguida:

El código de control para probetas de tensión, especifica los datos siguientes:

colada	---	núm. progresivo	---	posición de estudio en la
		en su serie		canastilla de tratamiento
				térmico.

El código de control para las cajas de velocidades, será semejante y estará constituido por las especificaciones siguientes:

colada	---	posición de estudio en la canastilla de tratamiento térmico.
--------	-----	--

6.2 Condiciones de aceptación de las probetas para prueba de tensión

La necesidad de que las probetas sobre las cuales se efectuarán las pruebas de tensión cumplan con las condiciones establecidas, obliga a especificar al Departamento de Producción condiciones de aceptación de las mismas, siendo estas las siguientes:

a) Deberán entregarse al Departamento de Control de Calidad 6 probetas para tensión por carga vaciada.

b) Las probetas entregadas no deben presentar variación longi-

tudinal y/o transversal.

c) No deben presentar exceso de material.

d) No deben presentar falta de material.

e) No deben presentar pandeo.

f) No se debe efectuar operación de esmerilado sobre cualquier superficie que constituye a las probetas.

7. Prueba de porosidad.

7.1 Generalidades.

El asunto del gas y su efecto en las fundiciones de aluminio, es considerado frecuentemente como el factor más importante que gobierna la calidad del aluminio fundido y las fundiciones producidas. Al presentarse en cantidades apreciables, aparece el defecto conocido como porosidad pinhole.

Es sabido que durante la solidificación de cualquier material metálico fundido se observará una contracción, misma que para el aluminio es aproximadamente del 5%. Esta es una contracción considerable y razón suficiente para el uso de mazarotas en las secciones de mayor espesor de la caja de velocidades. Una pequeña cantidad de gas en el fundido ayuda a compensar la contracción, pero repercute como porosidad en la pieza terminada.

Con el fin de disminuir el efecto de la contracción, es conveniente permitir hasta un 2% de porosidad siempre y cuando el tamaño del grano de la fundición sea fino, pues con este porcentaje de gas, la porosidad es difícilmente detectada en forma visual y la contracción en cambio aparentemente se reduce a un 3%. Al incrementarse el

contenido de gas, la porosidad se torna un problema serio, especialmente en las fundiciones de arena en -verde-, donde las velocidades de enfriamiento lentas originan grano grueso en el producto. La porosidad apreciable es causa de rechazo en fundiciones de aluminio que son maquinadas, como es el caso de las cajas de velocidades.

7.2 El efecto del hidrógeno en fundiciones de aluminio.

El hidrógeno gaseoso es soluble en aluminio fundido y prácticamente insoluble en aluminio sólido, por eso al efectuarse el cambio de estado líquido a sólido, el hidrógeno disuelto es rechazado del metal fundido y forma porosidad en la pieza sólida. Las fuentes de hidrógeno gaseoso que pueden contaminar el baño metálico son el vapor acuoso de la humedad del medio ambiente que se genera durante la operación de colada, como consecuencia del contacto metal fundido-molde; la afinidad elevada del aluminio por el oxígeno genera reacciones fácilmente con el agua para formar el óxido de aluminio y el hidrógeno, que como ya se dijo, es soluble en el metal fundido.

Este hidrógeno liberado es el que se disuelve fácilmente en el aluminio fundido, pues el hidrógeno molecular o gaseoso ordinario no es soluble en forma apreciable. La solubilidad del hidrógeno, por otra parte, se incrementa rápidamente al elevarse la temperatura.

Los productos de combustión y la humedad del aire utilizado para la combustión, así como la humedad del aire circundante del fundido durante la transferencia horno-recipientes de vaciado, son causas de gaseado que deben controlarse.

El hecho de contar con hornos de crisol basculantes calentados

mediante fuel o gas, hace necesario controlar la combustión. La atmósfera de combustión para este propósito será levemente oxidante, generándose por esta razón una capa de óxido de aluminio sobre el baño metálico que actuará como protectora del mismo.

7.3 Medida del contenido de gas.

La inspección rigurosa y los requerimientos de las propiedades mecánicas especificadas, son razón suficiente para efectuar evaluaciones del contenido de gas del fundido, pues el costo apreciable de los rechazos que pudieran sucederse por esta causa lo amerita así.

El método seguido en la evaluación del contenido de gas del fundido, consistió en vaciar en un molde de arena para corazones de forma rectangular, de dimensiones 2 X 2 X 4 in para los lados y la altura respectivamente, y observar el grado de contracción que se presenta al llevarse a cabo la solidificación y posterior enfriamiento del metal fundido que se vació; esto indica en forma burda el porcentaje de porosidad. Sin embargo, también se efectuaron pruebas de mayor aceptabilidad consistentes en propiciar la solidificación de una muestra (probeta troncocónica) en vacío, efecto que acusa la gravedad de la porosidad, ya que el hidrógeno es liberado de la solución. La presión es reducida por abajo del 10% de la presión atmosférica normal, o sea, abajo de 70 mm de Hg de presión. Observando la superficie de dichas probetas, o bien seccionándolas y/o maquinándolas, se determina mediante una escala comparativa el grado de gaseado del metal fundido. El contenido de gas del fundido es estimado por evaluación del tamaño y el número de burbujas encontradas.

Debe contarse con una serie de probetas que sirvan como refe--

rencia para evaluar el contenido de gas, asignándole a cada par de probetas un número (para vacío y solidificación en aire respectivamente), así que a la probeta de prueba puede asignársele un valor para los propósitos mencionados.

7.4 Determinación del grado de porosidad en el producto elaborado.

La prueba de porosidad en las cajas de velocidades se efectúa tanto por inspección visual del producto como por inspección de las partes maquinadas; sin embargo, hubo casos en que se seccionaron varias cajas de velocidades de un lote dado con la única finalidad de efectuar dicho estudio, sobre todo en el caso de haberse presentado el defecto de porosidad en el lote anterior.

El tamaño de poro aceptable se establece según el criterio del Departamento de Control de Calidad de la empresa que adquiere el producto, y será aceptable siempre y cuando no influya en las propiedades mecánicas del producto u ocasione discontinuidades en las cuerdas (rosca) elaboradas en el producto.

8. Análisis metalográfico.

La importancia de este ensayo radica en que por medio de él podemos determinar:

- a) Método de moldeo.
- b) Presencia de poros, inclusiones o segregaciones.
- c) Efecto del modificador (en caso de utilizar este).
- d) Tamaño del grano de la fundición.
- e) Grado del tratamiento térmico.

Es importante aclarar que a fin de que las empresas involucradas obtengan estudios metalográficos semejantes para el producto, tema de esta tesis, que está compuesto de secciones de espesor variable especifiquen con claridad la parte del producto del cual fue tomada la muestra.

En piezas de espesores muy diferentes será necesario examinar especímenes de cada una de estas secciones a fin de evaluar la fundición completa, pues las secciones próximas a los alimentadores o maza rotas exhiben generalmente características estructurales que no son representativas de la fundición completa. La limitante de tener que seccionar las cajas de velocidades para obtener la sección o muestra a la que se le efectúe el estudio metalográfico, obliga las más de las veces a efectuar dicho estudio utilizando secciones que componían la probeta de tensión.

La observación del espécimen bajo condiciones de pulido, permite determinar la existencia de poros, inclusiones o segregaciones. Para observar las demás características especificadas en los incisos a, c, d y e, es necesaria la preparación y ataque químico correcto de la muestra utilizada.

R E S U L T A D O S

D E

L A S

P R U E B A S

E F E C T U A D A S

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS

A fin de facilitar el manejo y observación de los resultados, se diseñó una tabla donde se recopilan los datos obtenidos para las pruebas de:

- a) Análisis Químico
- b) Dureza Brinell
- c) Resistencia a la tensión

Esta tabla se denomina "Tabla de Control General para probetas de tensión" y puede observarse al final del lote de estudio que se cita.

De igual manera, los resultados correspondientes a la inspección de los defectos de fundición y verificación dimensional básica del producto, se especifican por medio de gráficas, por ser el conducto más objetivo y fácil de determinar el grado de desarrollo del proceso productivo.

Las pruebas de tratamiento térmico (condiciones de operación) y porosidad, correspondientes a cada lote, se citan verbalmente, de tal modo que dicha descripción semeje lo más posible dichas pruebas.

Finalmente, la prueba de análisis metalográfico cuyos resultados están ligados directamente con las condiciones de operación que prevalezcan en el proceso productivo y con el tratamiento térmico efectuado (condiciones de operación), comprende la apreciación y descripción de las fotomicrografías representativas del lote correspondiente tomadas en probetas o cajas de velocidades, previa especifica-

ción de la sección de estudio.

Análisis de los resultados de las pruebas efectuadas
al 1^{er} lote de cajas de velocidades

Análisis Químico.- El análisis químico fue determinado por espectrometría de emisión en el laboratorio de la empresa consumidora y los resultados pueden observarse en la tabla correspondiente al 1^{er} lote, siendo estos en resumen los siguientes.

Los elementos para los cuales se especifica un por ciento máximo permisible, como son el Cu, Mn, Zn y Ti reportaron valores dentro de especificación en todos los casos; sin embargo, elementos como el Al, Fe y Mg arrojaron valores fuera de especificación, cuya variación se da a continuación.

elemento	valores reportados		datos	datos fuera de
	mínimo	máximo	totales	especificación
Silicio	5.34	6.58	15	14
Fierro	0.16	0.22	15	
Magnesio	0.18	0.23	15	6

En suma, se hace necesario mantener la composición química de la aleación de aluminio SAE 323 dentro de los límites de especificación asignados en ella; sin embargo, tal sugerencia en la práctica no funciona, pues la empresa productora no cuenta con los medios adecuados para efectuar dicha prueba rápidamente, a fin de que se pudieran ajustar los porcentajes requeridos durante la operación de fusión.

La actividad de la empresa productora se simplifica a evaluar-

su lingote recibido y, una vez aceptado, proceder a su fusión en el momento requerido para efectuar la operación de vaciado del metal líquido en el molde de arena en -verde-, elaborado con anterioridad, sin realizar operación alguna de afino de la composición química en el horno de fusión.

Resultados de la prueba de defectos de fundición del 1^{er} lote
de cajas de velocidades

El estado de las cajas de velocidades se determina con seguridad hasta que son terminadas; ello implica la necesidad de efectuar un control preventivo, a fin de mantener un control severo de los pasos intermedios que conducen a la elaboración final del producto.

El principal motivo que induce a la inspección del producto -- terminado, es evitar que material defectuoso pase a la sección de embarque y, durante el proceso de evaluación inicial o producción de los lotes pilotos, esta inspección es recomendable que se efectúe al 100% del producto. Posteriormente, las normas de inspección para tal prueba deberán ser establecidas entre las compañías productora y consumidora. El material defectuoso, o bien se refunde (recirculación de materia prima), o se manda a retrabajo cuando esta operación sea necesaria.

Es obligación del Departamento de Control de Calidad avisar oportunamente de los resultados de la inspección a los departamentos involucrados en la corrección de los defectos detectados, para que éstos procedan de inmediato a solucionarlos.

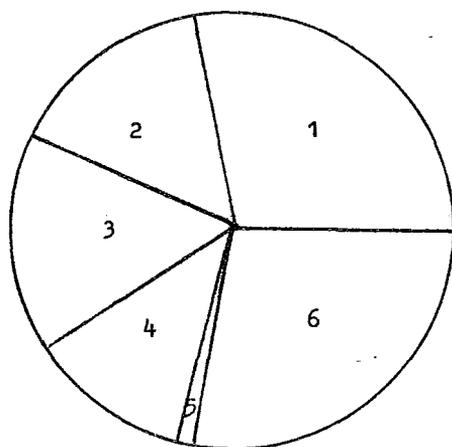
Los datos referentes a la inspección de los defectos de fundición se dan en seguida.

piezas totales producidas	153
piezas rechazadas	113
piezas aceptadas	42

Las causas de rechazo, así como la proporción de las mismas, se da en seguida.

acabado interior	43	28.10%
corrimiento externo	25	16.34%
arrastre de arena	25	16.34%
espesor delgado	18	11.76%
porosidad	1	0.65%
<hr/>		<hr/>
Total	113	72.55%

La gráfica general, la cual muestra la relación en porcentaje de las piezas no defectuosas y defectuosas, así como la distribución de éstas últimas en relación al total de cajas producidas es:



- 1 Acabado interior
- 2 Corrimiento externo
- 3 Arrastre de arena
- 4 Espesor delgado
- 5 Porosidad
- 6 Porcentaje de artículos - aceptados

Verificación dimensional básica del 1^{er} lote
de cajas de velocidades

Como se especificó con anterioridad, este requisito se cumple por inspección de 12 cotas críticas de control. La frecuencia de inspección fue establecida por acuerdo de ambas compañías, especificándose una caja de velocidades por cada 100 producidas.

Los resultados dados por el Departamento de Metrología para este 1^{er} lote fueron los siguientes.

Cota Núm.	Dimensión de dibujo (mm)	valores reportados (mm)
1	75.0 ± 0.8	75.5
2	R 13.0 ± 0.8	13.9 *
3	19.0 ± 0.8	18.9
4	65.0 ± 0.8	64.9
5	68.0 ± 0.8	67.9
6	56.0 ± 0.8	56.3
7	13.5 ± 0.8	14.8 *
8	263.0 ± 1.5	264.5
9	140.4 ± 1.0	141.8 *
10	4.5 ± 0.8	4.14
11	229.0 ± 1.5	227.3 *
12	6.0 ± 0.8	6.8

* Cotas fuera de especificación, las cuales deberán corregirse de inmediato.

Tratamiento Térmico

Preparación e inicio del Tratamiento Térmico

Se efectuó el marcado de las cajas de velocidades y de las probetas para tracción, tomando como referencia los niveles de la canastilla y la posición que guardan en cada rejilla, operación misma que se efectuó instantes antes de meter la carga a la cámara de solubilización. Cada nivel de la canastilla, como se explicó con anterioridad tuvo 5 posiciones de estudio, por lo cual las cajas de estudio marcadas con el código citado fueron 15. En cada una de estas cajas se colocaron 3 probetas para prueba de tensión. También se determinó la necesidad de entregar una probeta para tracción, de cada posición de estudio, a la compañía consumidora y una probeta de cada nivel a la compañía que efectúa el tratamiento térmico.

La capacidad de la canastilla es de 125 cajas de velocidades; el lote de prueba núm. 1 estuvo compuesto por 40 cajas de velocidades haciéndose necesario utilizar 85 cajas de velocidades de serop, a fin de simular un tratamiento térmico de producción continua.

De las 40 cajas de velocidades en buen estado, 15 ocuparon las posiciones de estudio especificadas, cubriéndose así el total de posiciones de estudio de los niveles T, M y A; las 25 cajas de velocidades restantes ocuparon posiciones al azar.

La temperatura registrada al introducirse la canastilla conteniendo las cajas de velocidades fue de 300°C y se estabilizó a 540°C al cabo de 4 hrs. La duración del tratamiento de solubilización fue -

10 horas y el tiempo de envejecimiento artificial de 4 horas a temperatura de 154°C . La operación intermedia entre el tratamiento de solución y el de envejecimiento es el temple o retención de fase, y las condiciones bajo las cuales se efectuó dicha operación fueron:

El medio de transferencia, cámara de solubilización-medio de enfriamiento fue de 33 segundos, rebasándose el máximo especificado que es de 25 segundos.

El tiempo de permanencia de la carga en el medio de enfriamiento fue de 10 minutos según lo especificado o requerido; sin embargo, la agitación de la carga fue nula haciéndose necesario corregir este punto.

La temperatura inicial del medio de enfriamiento fue de 46°C y la final de 65°C .

El medio de enfriamiento fue agua.

Sugerencias para los lotes posteriores que sufran
tratamiento térmico

a) Marcar con anticipación las cajas de velocidades y probetas para prueba de tracción, a fin de evitar pérdida de tiempo en la operación de tratamiento térmico y facilitar su identificación posterior

b) Lograr una uniformidad de calentamiento de la carga.

c) Uniformizar el enfriamiento de la carga, para lo cual deberá mejorarse el tiempo de transferencia, horno de solubilización-medio de enfriamiento y mejorar el grado de agitación de la carga durante

su periodo de enfriamiento:

Prueba de dureza

Los resultados obtenidos al checar la dureza a las probetas para tracción, pueden observarse en la tabla correspondiente al lote núm. 1, determinándose que casi todos los valores quedan dentro del rango de especificación dado que es de 70-90 BHN. La variación obtenida se cita a continuación.

Material	Resultados de dureza Brinell	
	valor mínimo	valor máximo
Probetas para tracción	71.5	91.6

Se obtuvo un sólo valor de dureza fuera de especificación superior al de 90 BHN especificado en la norma de aceptación; sin embargo, el rango de variación observable para los valores de dureza es muy amplio, determinándose la necesidad de homogenizar operaciones de trabajo como son: composición química, temperatura de vaciado, velocidad de enfriamiento en el molde (relacionada directamente con la permeabilidad del molde y con el tiempo de desmoldeo), uniformidad de calentamiento en las operaciones de solubilización y envejecimiento artificial y uniformidad de enfriamiento en la permanencia de la carga en el medio de enfriamiento mediante agitación vigorosa, a fin de que la respuesta del producto al tratamiento térmico sea uniforme.

También se checó la dureza a las 40 cajas de velocidades que - sufrieron el tratamiento térmico y que formaron el 1^{er} lote experimental, habiéndose obtenido los resultados siguientes.

Dureza Brinell reportada para el 1^{er} lote experimental
de cajas de velocidades (con T.T.)

Código Número Consecutivo	Dureza Brinell	
	empresa consumidora	empresa que efectúa el T.T.
1	89	89
2	93 *	86
3	89	89
4	86	86
5	80	86
6	89	89
7	86	86
8	89	83
9	86	86
10	86	86
11	86	86
12	86	86
13	86	86
14	86	86
15	89	89
16	86	86
17	86	86
18	74	74
19	69 *	71
20	93 *	93 *

Código Número Consecutivo	Dureza Brinell	
	empresa consumidora	empresa que efectúa el T.T.
21	89	89
22	86	86
23	93 *	93 *
24	89	86
25	86	86
26	93 *	93 *
27	89	89
28	89	89
29	86	86
30	89	89
31	89	89
32	89	89
33	93 *	93 *
34	89	89
35	89	89
36	89	89
37	86	86
38	83	83
39	93 *	93 *
40	89	89

* Valores fuera de especificación.

Los valores fuera de especificación reportados por la compañía consumidora fueron 7, de los cuales sólo uno fue inferior al del rango de validez solicitado y los otros 6 fueron superiores al valor máximo requerido.

La compañía que efectuó el tratamiento térmico reporta 5 valores fuera de especificación, todos ellos superiores al del máximo especificado de 90 BHN.

De los 40 valores checados por ambas compañías, 35 valores -- coincidieron exactamente y los otros 5 que no coincidieron fueron los siguientes.

Código	Dureza compañía consumidora	Brinell compañía que efectúa el T.T.	Variación (unidades de dureza Brinell)
2	93	86	+6
5	80	86	-6
8	89	83	+6
19	69	71	-2
24	89	86	+3

Nota: se considera como referencia el dato aportado por la com
paña consumidora.

La variación máxima observable es de +6 unidades de dureza y es
ta prueba certifica la validez del reporte obtenido por una cualquie-
ra de ellas.

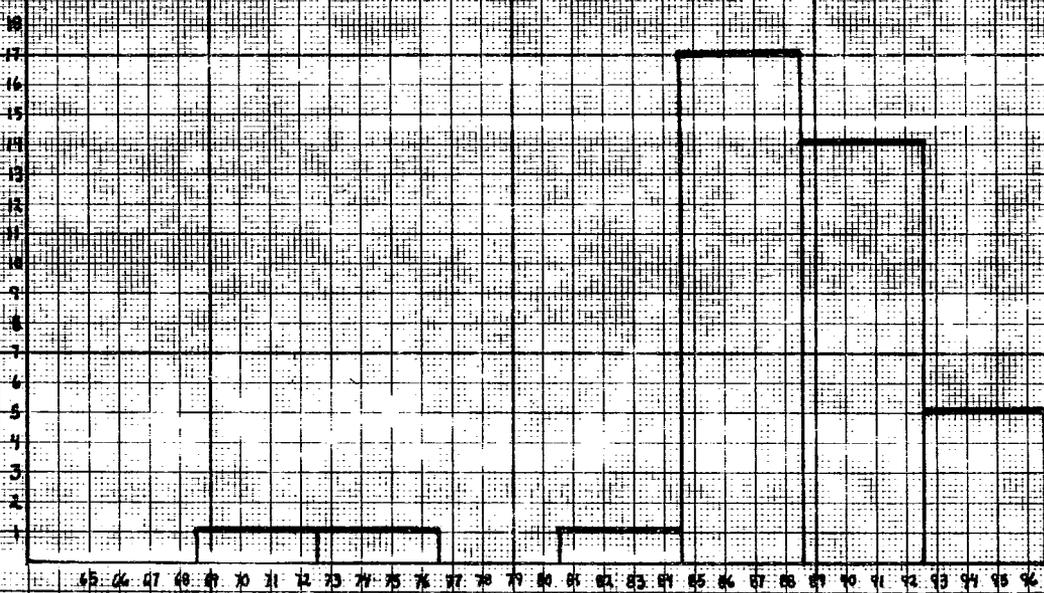
A fin de evaluar más claramente los resultados de dureza repor
tados por ambas compañías, los presentamos de acuerdo a una exposi---
ción estadística. En la tabla se observa la distribución de frecuen---
cias de los valores de dureza de las 40 cajas de velocidades que cons
tituyen el 1^{er} lote para las dos empresas.

Para la compañía consumidora		Para la compañía que efectúa el T.T.	
Dureza	Frecuencia	Dureza	Frecuencia
65 - 68		65 - 68	
69 - 72	1	69 - 72	1
73 - 76	1	73 - 76	1
77 - 80	1	77 - 80	
81 - 84	1	81 - 84	1
85 - 88	14	85 - 88	17
89 - 92	16	89 - 92	14
93 - 96	6	93 - 96	5

Las gráficas correspondientes se dan en seguida y en ellas puede determinarse que en general, la mayoría de los datos reportados por ambas empresas se encuentran situados en el rango superior de dureza, determinándose la necesidad de homogenizar el producto para evitar respuesta tan variada del mismo al tratamiento térmico y operar en forma tal que disminuya la dureza del producto, lo cual se logra aumentando el tiempo de envejecimiento artificial, o bien, manteniendo constante el tiempo de envejecimiento y aumentando la temperatura de esta operación.

Gráfica que muestra la distribución de los valores de Dureza Brinell correspondientes al 1^{er} lote de cajas de velocidades reportados por la compañía que efectuó el tratamiento térmico.

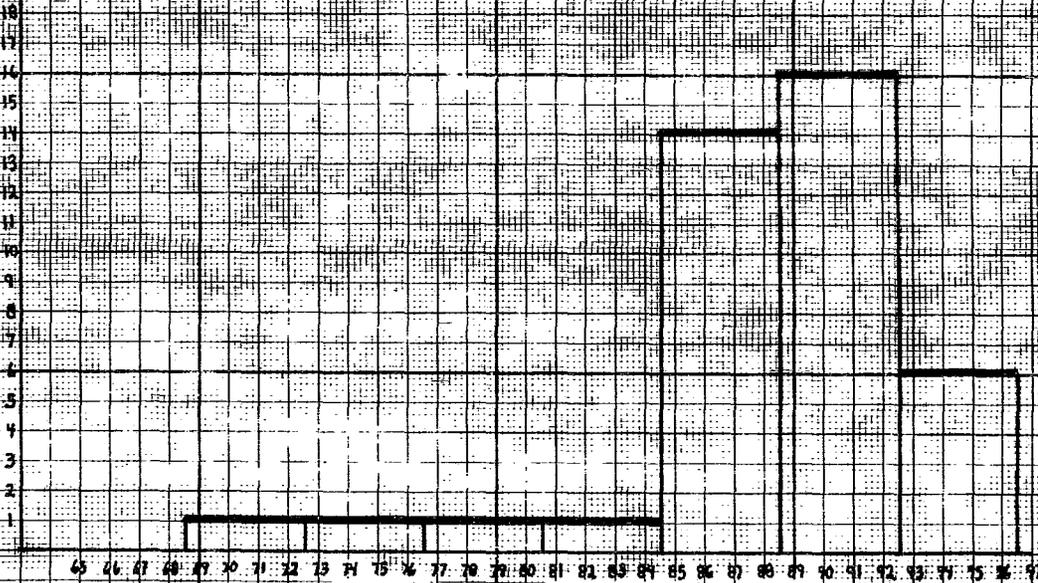
Frecuencia



Dureza Brinell

Gráfica correspondiente al 1.^{er} lote de cajas de velocidades en la cual se reportan los valores de dureza proporcionados por la compañía constructora.

Frecuencia



Dureza Brinell

Resultados de la prueba de tensión

Los resultados obtenidos para esta prueba pueden observarse en la tabla de control de probetas para tracción, donde se determina que absolutamente todos los valores obtenidos quedan dentro de norma.

El valor especificado en la norma, como se ha detallado con anterioridad, es de $\geq 30\ 000\ \text{Lbs/in}^2$.

El valor mínimo obtenido en el ensayo de esta prueba correspondió a la probeta 5M con $31\ 653\ \text{Lbs/in}^2$ y el valor máximo a la 4M con $40\ 386\ \text{Lbs/in}^2$ para durezas de las probetas de 74 y 80 BHN respectivamente. En general, aún cuando ningún dato fue inferior al especificado de $30\ 000\ \text{Lbs/in}^2$, el rango de variación entre el valor máximo y el mínimo reportados es bastante amplio ($8\ 733\ \text{Lbs/in}^2$), dato que reafirma la necesidad de homogenizar los parámetros de producción, operación y análisis químico de la aleación utilizados en la elaboración de las cajas de velocidades.

Resultados de la prueba de porosidad del 1^{er} lote de cajas de velocidades tratadas térmicamente

Como se explicó con anterioridad, esta prueba se realiza conjuntamente con la prueba de maquinado y este lote no presentó problemas en esta prueba funcional, concluyéndose que la variación de dureza en el rango de especificación dado es el aprobado y apropiado. De igual manera, no se reportó porosidad tal que afectara en alguna forma la calidad del producto; sin embargo, se observó en una caja de velocidades que un machuelo que inicialmente tenía movimiento libre, al

ser dejado en su misma posición por casualidad aproximadamente unos - 35 minutos, ya no fue posible removerlo manualmente, haciendo necesario el uso de pinzas para efectuar dicha operación, lo cual genera - cuerda barrida. Este hecho implica inestabilidad del producto, por lo cual se tiene que ejercer acción correctiva en la operación de enveje- cimiento artificial, ya sea incrementando el tiempo del tratamiento y manteniendo constante la temperatura de operación o viceversa.

Es más aconsejable efectuar la primera acción correctiva cita- da, a fin de evitar que los precipitados sean demasiado burdos, lo - cual traería como consecuencia una disminución excesiva de la dureza.

La operación correctiva señalada anteriormente, no debe efec- tuarse antes de haber determinado el óptimo en la operación de solubi- lización, a fin de observar el efecto de las operaciones correctivas- efectuadas en cada caso.

Análisis Metalográfico

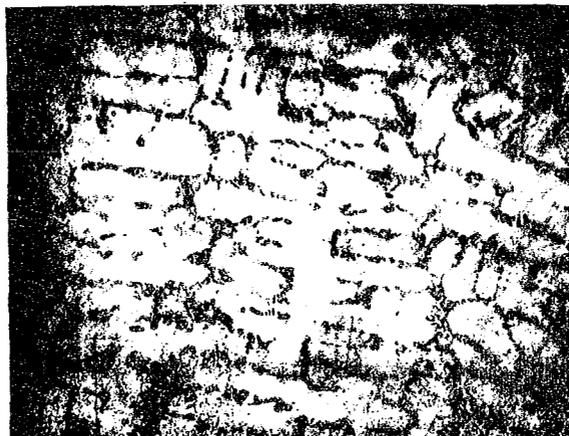
Se muestran, para cada lote, las fotomicrografías representati- vas de la estructura obtenida bajo las condiciones de tratamiento tér- mico, especificadas para cada caso. La composición química será la da- da por la SAE 323.

Las microfotografías nos permiten determinar los constituyen- tes principales y el efecto del tratamiento térmico, así como el tama- ño, distribución y cantidad de los constituyentes, lo mismo que el ta- maño de las dendritas de solución sólida de aluminio, o el efecto que causa en la microestructura la adición de agentes modificadores de la

misma.

Las micrografías mostradas corresponden a temperatura de vaciado y condiciones de moldeo comerciales, las cuales fueron tomadas en el centro de la sección transversal de la parte de la probeta que se utiliza para dicho estudio, o en caso de haber sido tomadas de alguna sección de las cajas de velocidades, se especificará con claridad, a fin de que los resultados correspondan a secciones del mismo espesor y similares velocidades de enfriamiento, factores que determinan el tamaño de las dendritas de solución sólida de aluminio, así como de los constituyentes.

Fotomicrografía representativa del 1^{er} lote de cajas
de velocidades que sufrió tratamiento térmico



CAJA 8 - 3M SECCION: centro del pedestal de reversa.

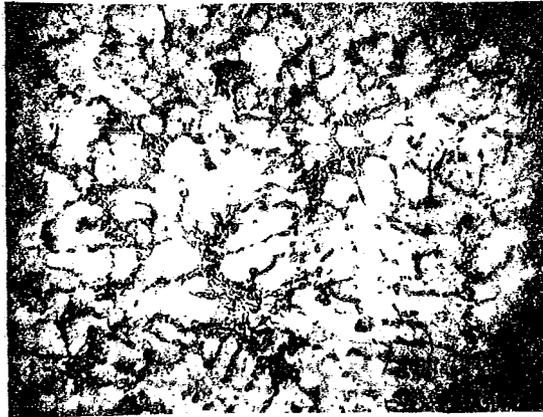
DESCRIPCION:

Aleación de aluminio SAE 323 moldeada en arena.

Se observa (Si) interdendrítico con cantidades apreciables de (Mg-Si). El tratamiento térmico de solubilización disuelve el (Mg-Si) y esferoidiza parcialmente las partículas de (Si). El microconstituyente (Al-Fe-Si) no se observa debido al bajo porcentaje en que se presenta en la aleación el hierro.

La matriz dendrítica de la solución sólida de aluminio, es típica del moldeo en arena.

Fotomicrografía representativa del 1^{er} lote de cajas
de velocidades

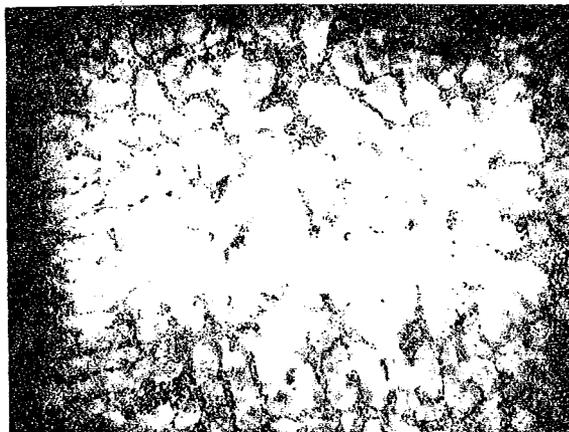


CAJA 2 -1A SECCION: pared lateral derecha (sección delgada).

Esta micrografía se seleccionó para observar la diferencia de estructura al cambiar la sección de la caja de velocidades.

Se determina que como causa de la mayor velocidad de enfriamiento en esta sección de la caja de velocidades, las dendritas de solución sólida de Aluminio son de menor tamaño. Además, el tamaño de las partículas de (Si) es apreciablemente menor, y por efecto del tratamiento de solubilización su esferoidicidad es mayor.

Fotomicrografía tipo



SECCION: no especificada.

Aumentos: : 100 X

Esta fotomicrografía fue aportada por la compañía consumidora para tomarla como parámetro comparativo. En ella puede observarse una muy buena homogeneidad estructural.

Permite observarse un refinamiento y globulización del silicio del eutéctico, ocasionado por el uso de un agente modificador.

TABLA DE CONTROL GENERAL DE PROBETAS PARA TENSION

NORMA SAE 273	NIVEL T					NIVEL M					NIVEL A				
	1A	2A	3A	4A	5A	1M	2M	3M	4M	5M	1T	2T	3T	4T	5T
Al restante															
Si 6.5 - 7.5	5.63	5.92	6.17	5.54	6.20	6.16	5.34	5.84	6.18	5.93	5.53	6.58	5.84	6.21	5.91
Fe 0.6	0.18	0.16	0.18	0.18	0.22	0.17	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16	0.18	0.17	0.19	0.17
Cu 0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn 0.35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg 0.2 - 0.4	0.20	0.19	0.20	0.18	0.23	0.19	0.21	0.20	0.22	0.20	0.19	0.18	0.19	0.20	0.20
Cr —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni —	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zn 0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti 0.25	0.07	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06
Su —	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C/Pu 0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
litros total 0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BHN (con T7)	76.8	76.8	85.7	85.7	85.7	85.7	74.1	74.1	79.6	74.1	82.5	92.6	71.5	92.6	85.7
R = 1 x tension	27424	27800	28712	29151	28800	29886	29154	28936	30986	21653	27816	27890	28800	27986	28406

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES AL 2^o LOTE PILOTO
DE CAJAS DE VELOCIDADES

Introducción.

El estudio del lote núm. 2 comprende algunas variantes, sobre todo en las operaciones efectuadas en el horno de crisol, ya que se probó la utilización de un afinador de grano para observar su efecto, tanto en la estructura metalográfica como en las propiedades mecánicas de la pieza, debido esto a que la empresa consumidora sugirió la obtención de una estructura metalográfica determinada, misma que se muestra en la sección correspondiente a los resultados del análisis metalográfico de este lote. Dicha fotografía puede tomarse como parámetro comparativo, punto de referencia u objetivo a lograr.

Las condiciones del tratamiento térmico también se cambiaron y se citan en la sección correspondiente. De igual manera, se citan los cambios y mejoras efectuados tanto en el equipo como térmicamente.

También en la prueba de dureza se observan algunas variantes en el análisis de los resultados correspondientes, desarrollándose el aspecto técnico correspondiente.

Todas las demás pruebas efectuadas no sufrieron cambio alguno en su realización, respecto al lote número 1.

Resultados correspondientes al lote núm. 2 referentes al

Análisis Químico

El análisis químico reportado por la compañía consumidora pue-

de observarse en la tabla correspondiente (Tabla de Control General - de Probetas para Tensión), de donde se deduce que el contenido de elementos tales como el Cu, Mn, Zn y Ti, para los cuales se especifica - un valor máximo permisible (según la norma seguida por la compañía - productora y que es la aleación de aluminio 356 modificada) quedan - dentro de especificación. Sin embargo, elementos como el Fe están fue - ra de especificación, lo mismo que el contenido de silicio de la mayo - ría de las probetas, pues de los 17 resultados reportados, 11 quedan - fuera del límite de especificación que se establece para este elemen - to.

El contenido de Magnesio se encuentra dentro del rango de espe - cificación en todos los casos.

Inspección de defectos de fundición

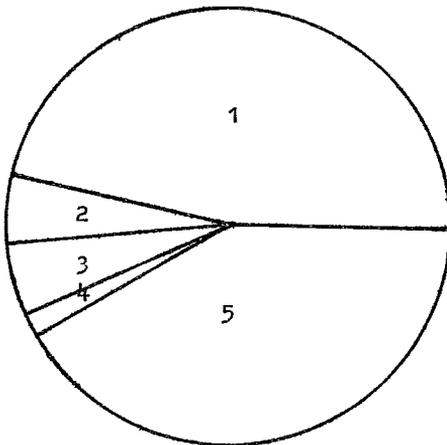
Esta prueba no sufrió cambio alguno en lo referente a su reali - zación con respecto al lote anterior, habiéndose efectuado al 100% de las piezas producidas, siendo sus resultados en cifras los siguientes

UNIDADES		PORCENTAJE	
Rechazadas	35	58.33%	
Aceptadas	25	41.67%	
Totales	60	100 %	

Las causas de rechazo se especifican a continuación, utilizando la leyenda correspondiente y citando el porcentaje defectivo.

Causa de rechazo	Núm. de unidades rechazadas	% defectivo
Acabado interior	28	46.66
Espesor delgado	3	5.00
Corrimiento externo	3	5.00
Arrastre de arena	1	1.66
T o t a l	35	58.32

Las gráficas correspondientes muestran más objetivamente dichos resultados a continuación.



- 1 Acabado interior
- 2 Espesor delgado
- 3 Corrimiento externo
- 4 Arrastre de arena
- 5 Artículos aceptados

Análisis dimensional básico del 2^o lote
de cajas de velocidades

El análisis dimensional básico arrojó los siguientes resultados:

Cota Núm.	Dimensión de dibujo (mm)	Valores reportados (mm)
1	75.0 ± 0.8	75.70
2	13.0 ± 0.8	13.80 13.10
3	19.0 ± 0.8	19.50
4	65.0 ± 0.8	65.00
5	68.0 ± 0.8	68.00
6	56.0 ± 0.8	56.40
7	13.5 ± 0.8	14.80 *
8	263.0 ± 1.5	264.50
9	140.4 ± 1.0	141.40
10	4.5 ± 0.8	4.40
11	229.0 ± 1.5	230.00
12	6.0 ± 0.8	6.40

Determinándose variación significativa en la cota 7.

Tratamiento Térmico

El control de las cajas de velocidades que constituyen el 2^o lote lleva la nomenclatura siguiente:

Número de colada	Número progresivo de su serie	Posición de estudio en la canastilla
------------------	----------------------------------	---

La nomenclatura asignada a las probetas para tensión fue la siguiente:

Número de colada	Número progresivo de su serie	Nivel y posición de estudio dentro de - la canastilla
------------------	----------------------------------	---

La posición de estudio se marcó únicamente a las cajas y probetas colocadas en los lugares claves de la canastilla de soporte, como se ha especificado en el lote anterior.

Las probetas para tensión colocadas en el interior de cajas de velocidades que ocupan una situación de estudio en la canastilla, fueron de la misma composición química a fin de homogenizar la respuesta al tratamiento térmico de cajas y probetas y, a la vez, las pruebas efectuadas sobre las probetas para tensión son representativas y confiables.

En total se colocaron 10 unidades con probetas en su interior, de las cuales, al finalizar el tratamiento térmico se entregarían las probetas contenidas de 3 de las unidades en su totalidad a la compañía que efectuó el tratamiento térmico.

Las unidades de las cuales se tomarían estas probetas deberían estar en niveles diferentes dentro de la canastilla de soporte.

De las 7 unidades restantes situadas en posiciones de estudio, se entregó una probeta de las 3 que lleva cada unidad a la empresa consumidora, quedándose la empresa productora con las dos restantes -

de cada unidad.

El total de los puestos de estudio fue cubierto con unidades - que no contenían en su interior probetas para tensión.

Las condiciones establecidas para el tratamiento térmico fueron especificadas por la compañía consumidora y son:

Solubilización:

Se dió permanencia de 12 horas a 540°C , misma que se logró como lo demuestra la desintegración de las pastillas colocadas (de 1000°F) en las 15 posiciones de estudio, concluyéndose además la existencia de un calentamiento uniforme en la cámara del horno que sirve para efectuar dicha operación.

Temple:

Al recipiente que contiene el medio de enfriamiento se le adicionó un dispositivo (bomba) a fin de lograr una recirculación del agua, originándose al mismo tiempo un flujo de agua en sentido tangencial al recipiente debido a la posición del tubo de descarga. Para evaluar el efecto de estos cambios se checó la temperatura del medio de enfriamiento en varias posiciones, antes y después de efectuar dicha operación a la carga, obteniéndose los resultados siguientes:

	ANTES	DESPUES
Temperatura en el fondo del recipiente	36.5°C	51.0°C
Temperatura en la superficie del recipiente	42.0°C	56.5°C

Mismos que permiten observar la irregularidad del enfriamiento.

que sufre la carga; además de tener una temperatura inicial promedio de 39.5°C considerablemente elevada para efectuar esta operación. Así mismo, la capacidad de absorción de calor del medio de enfriamiento disminuye a medida que transcurre el tiempo, ya que la temperatura final promedio es de 54°C .

Por lo que respecta al tiempo de transferencia de la carga de la cámara de solubilización al medio de enfriamiento, puede decirse que se cumplió con el requisito de no rebasar los 25 segundos, siendo el tiempo reportado de 23 segundos. Lo mismo podemos decir para el tiempo de permanencia de la carga en el medio de enfriamiento y para el grado de agitación, pues estas fueron de 11 minutos y buena agitación.

Envejecimiento:

Las condiciones de operación fueron de 4:30 hrs de permanencia de la carga en la cámara de calentamiento correspondiente y temperatura de 195°C .

Sugerencias:

Es conveniente que la temperatura inicial del medio de enfriamiento se disminuya a fin de aumentar la severidad de este. Esta sugerencia que en otras condiciones es simple se complica en este caso, ya que el recipiente que contiene al medio de enfriamiento está colocado junto a la cámara de solubilización, incrementándose la temperatura del medio de enfriamiento invariablemente.

Prueba de Dureza

Para este lote se hicieron algunos estudios complementarios -

como son:

a) Verificar si la dureza de las piezas obtenidas de una misma colada es igual y observar la semejanza de esta para cargas diferentes.

b) Verificar si la dureza de las cajas de velocidades y de las probetas para tensión obtenidas de la misma colada es igual o semejante, a fin de poder determinar si los valores reportados para las probetas para tensión son representativos y pueden utilizarse para evaluar el tratamiento térmico.

c) Efectuar el análisis de los datos de dureza reportados en la Tabla de Control General para Probetas de Tensión, que comprende los valores de dureza de las probetas de tensión situadas en posición de estudio en la canastilla de soporte durante el tratamiento de solución.

a) La dureza de las probetas para tensión en -verde- correspondientes a cada carga vaciada fue:

Colada	Núm. progresivo	Dureza Brinell
4	1	55
4	2	61
4	3	54
4	4	59
4	5	63
4	6	63
6	1	63
6	2	55
6	3	54

Colada	Núm. progresivo	Dureza Brinell
6	4	65
6	5	61
6	6	65
7	1	61
7	2	65
7	3	61
7	4	61
7	5	61
7	6	65
8	1	61
8	2	65
8	3	65
8	4	59
8	5	61
8	6	51
9	1	61
9	2	63
9	3	63
9	4	61
9	5	54
9	6	61
10	1	59
10	2	61
10	3	57
10	4	57
10	5	61
10	6	61

Colada	Núm. progresivo	Dureza Brinell
11	1	59
11	2	65
11	3	65
11	4	65
11	5	65
11	6	65
12	1	57
12	2	57
12	3	61
12	4	61
12	5	57
12	6	57

No se entregaron probetas para tensión de las cargas 1, 2, 3 y 5, por lo cual, no se reportan dichos resultados.

El análisis de los resultados anteriormente citados arroja las conclusiones siguientes:

--- La dureza reportada por las probetas obtenidas de la misma colada, lo cual implica igual composición química y también igual-velocidad de enfriamiento, no reportan valores iguales en muchos de los casos, pero si semejantes.

--- Las variaciones observadas en los resultados presentados-bien pueden atribuirse a efectos tales como:

Superficie irregular, o sea, no perpendicular a la carga de aplicación, obteniéndose en este caso valores de erróneos, pues no es

completamente esférica la huella.

Error en la lectura efectuada por el operador del durómetro, -
pudiendo ser esta manual, mecánica o visual.

b) Considerando la dureza para las probetas de tensión obtenidas de la misma carga, puede observarse que los valores obtenidos para las diferentes cargas varía en el rango de 54-65, variación que -
comprende 11 unidades, lo cual es significativo haciéndose necesario -
buscar la manera de estandarizar la dureza obtenida para todas las -
cargas. Esto último se puede lograr estandarizando al máximo el proceso, es decir, controlar el análisis químico de las cargas, así como -
las operaciones efectuadas en el horno y el tiempo de desmoldeo de -
las cajas de velocidades y probetas para tensión, pues todos ellos -
son factores que repercuten en la obtención de un determinado tipo de
estructuras metalográficas influyendo determinadamente en las propiedades mecánicas del producto final.

Puede hacerse la observación significativa siguiente: la dureza promedio de las probetas para tensión correspondientes al 2^o lote es de 61 BHN, mientras que la dureza promedio de las probetas para -
tensión correspondientes al 1^{er} lote fue de 45 BHN, efecto que aún -
cuando las condiciones de operación no han sido controladas, bien puede
de asignarse al afinador de grano utilizado en este 2^o lote.

Para efectuar el estudio referente al inciso b utilizaremos -
los datos correspondientes a las cajas de velocidades que constituyeron el 2^o lote de cajas de velocidades, siendo las siguientes.

Código colada		Núm. progresivo		Dureza BHN -en verde-
.....				
1	....	1	....	61
2	....	2	....	57
2	....	3	....	57
2	....	4	....	54
2	....	5	....	54
2	....	6	....	50
3	....	7	....	54
3	....	8	....	48
3	....	9	....	48
4	....	10	....	57
4	....	11	....	54
4	....	12	....	54
5	....	13	....	50
5	....	14	....	54
5	....	15	....	48
5	....	16	....	50
7	....	17	....	57
9	....	18	....	54
10	....	19	....	50

Donde puede observarse que mientras para las probetas para ten sión -en verde- los valores de Dureza Brinell quedan comprendidos en el rango de 54-65; para las cajas de velocidades este rango es de 48-61, encontrándose que de los 19 valores reportados 3 corresponden a 48 BHN, 4 a 50 BHN, 4 a 57 BHN y 1 a 61 BHN, concluyéndose que el -- grueso de las cajas reportadas se encuentra entre 50 BHN y 57 BHN (du reza inferior a la de 61 BHN) como promedio para las probetas de ten sión.

Estos resultados nos permiten observar que la dureza obtenida-

en probetas para tensión para un lote dado no puede ser considerada - representativa de las cajas de velocidades, ya que sus velocidades de enfriamiento son diferentes.

c) Análisis de los valores de dureza reportados en la Tabla General.

Los valores de dureza reportados, los cuales corresponden a - las probetas de tensión que han sufrido el tratamiento térmico correspondiente al 2^o lote de cajas de velocidades, permiten observar la - gran heterogeneidad de estos, habiéndose encontrado 2 valores inferiores al mínimo (70 BHN) especificado en norma, correspondiendo estos a las probetas cuyos códigos son 3-4 3T y 4-1 1A; así como también 2 valores de 93 BHN superiores al especificado en norma de 90 BHN, correspondientes a las probetas cuyos códigos son el 7-2 5M y 4-2 1A.

La respuesta tan irregular al tratamiento térmico era de esperarse, dado que no se controlan las condiciones de operación del proceso.

Resultados de la prueba de tensión

Los resultados obtenidos para esta prueba pueden observarse en la Tabla de Control General para probetas de tensión, donde se determina que únicamente la probeta 4-1 1A arroja un valor inferior al solicitado de 30 000 Lbs/in² mínima, siendo esta igual a 28 820 Lbs/in²

Una disposición de las probetas en orden creciente permite observar la relación existente entre la dureza y la resistencia a la - tensión de las probetas. Estos datos se reordenan en seguida.

C ó d i g o	BHN	Resistencia a la tensión (Lbs/in ²)
4-1 1A	65	28 820
3-4 3T	69	31 274
3-2 4T	72	32 500
3-2 5A	74	32 650
3-6 3T	77	34 472
9-5 2M	80	32 547 *
4-3 1A	80	35 400
4-2 5T	80	35 441
4-6 5T	83	35 505
4-4 5T	83	35 774
9-2 2M	86	36 495
7-1 5M	86	36 958
3-3 5A	86	
7-3 5M	86	
3-4 5A	88	37 619
7-2 5M	93	33 527 *
4-2 1A	93	37 460 *

* Valores fuera de secuencia.

Puede concluirse que la resistencia a la tensión se incrementa al incrementarse la dureza de las probetas.

No se presentaron problemas en el maquinado relacionado con la dureza al efectuar esta prueba funcional.

Resultados de la prueba de porosidad del 2^o lote

Durante la prueba funcional de maquinado se hicieron las observaciones pertinentes para detectar tal defecto, concluyéndose que no-

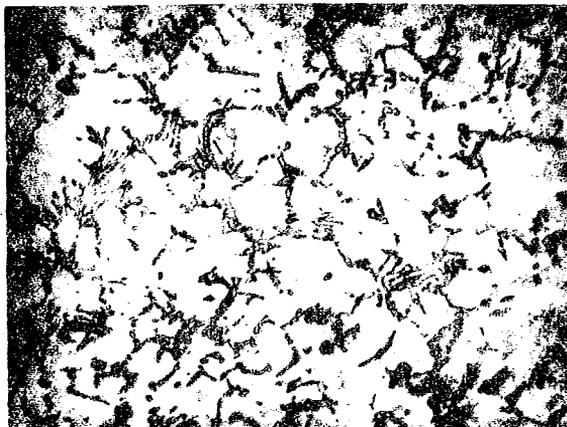
existe esta en grado apreciable. A excepción de una caja de velocidades que presentó tal defecto en el mamelon superior de la cara lateral izquierda, mismo que se determinó era debido al efecto de turbulencia del metal líquido durante el vaciado. Sin embargo, para prevenir en el futuro esta anomalía, se sugirió un cambio a la situación de los ataques, de tal modo que el efecto de turbulencia no causara más piezas defectuosas.

Análisis Metalográfico

Como es sabido, la estructura metalográfica se ve influenciada por factores como la velocidad de enfriamiento y por agentes que bien pueden ser afinadores de grano aunado a la velocidad de enfriamiento, ya que el artículo de nueva elaboración comprende secciones no uniformes.

En las fotomicrografías que se dan a continuación se observan segregaciones de silicio eutéctico, lo cual origina que las propiedades mecánicas del producto no sean uniformes.

Fotomicrografía representativa del lote núm. 2



CAJA -en verde- tomada al azar.

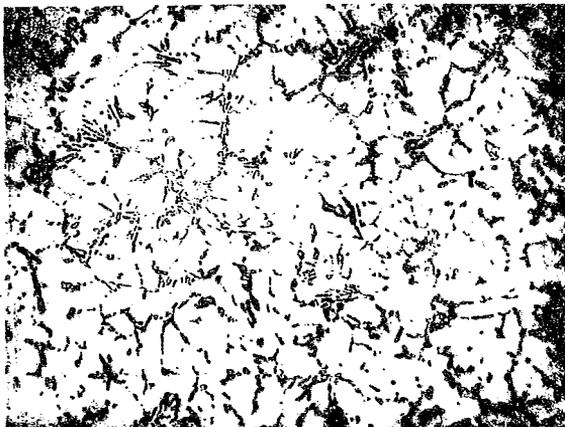
SECCION: centro del pedestal de reversa.

Se observa que el afinador de grano favorece la formación de las láminas de silicio del eutéctico más gruesas, que constituyen segregaciones en la matriz de aluminio.

El tamaño de la solución sólida de aluminio es muy semejante - en tamaño al obtenido en el 1^{er} lote, debido a la baja velocidad de enfriamiento de la pieza.

Fotomicrografía representativa del lote núm. 2

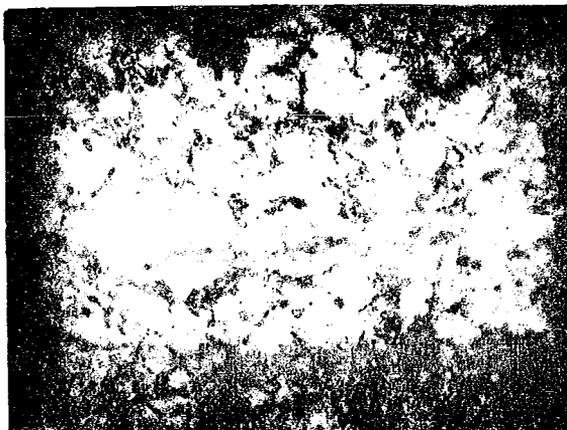
(Probetas para prueba de tensión)



PROBETA 3-5T SECCION: centro de la sección transversal de -
la parte de la probeta que sirve para
sujeción en la prueba de tensión.

Puede determinarse con claridad el efecto que tiene una mayor-
velocidad de enfriamiento sobre la estructura metalográfica. La ma---
triz de solución sólida de aluminio es sensiblemente inferior en este
caso y el eutéctico se reporta distribuido más uniformemente; de ---
igual manera, se determina un eutéctico más fino con silicio globular
Se observa que aún en forma ocasional se presentan plaquetas de Si -
primario.

Fotomicrografía representativa del lote núm. 2



CAJA Código no especificado.

SECCION: centro del pedestal de reversa.

En esta microfotografía se observa el defecto de porosidad que se presentó en este lote, sobre todo en el pedestal de reversa.

También se determina el efecto del tratamiento térmico sobre el Silicio del eutéctico, ya que se observa una globalización de este como efecto del tratamiento de solubilización.

RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL 3^{er} LOTE DE CAJAS
DE VELOCIDADES

Introducción.

En este lote el control fue más preciso. Las experiencias asimiladas de los lotes anteriores se pusieron en práctica, obteniéndose cajas de velocidades y probetas para tensión de la misma composición química, las cuales se marcaron de acuerdo con su código correspondiente ya explicado en el lote anterior. Igualmente, importante fue el hecho de haber logrado un control más estricto de la materia prima en su análisis químico, ya que ello hizo posible que el artículo (caja de velocidades) quedara dentro de especificación en su composición química.

En el horno se hicieron algunas modificaciones en su operación utilizando un modificador de grano, a fin de lograr la estructura metalográfica solicitada por la compañía consumidora, mostrándose dicha estructura metalográfica en el lote anterior.

El lote número 3 se dividió en dos secciones en el tratamiento térmico, habiendo sufrido estas secciones únicamente envejecimiento artificial diferente, pues las operaciones de solubilización y temple de retención de fase fue igual para ambos lotes que se efectuaron a la vez.

Todas las demás pruebas se efectuaron de acuerdo a lo especificado en los lotes anteriores sin cambios en su ejecución.

Resultados correspondientes al Análisis Químico

Para evaluar dicha prueba se consideran válidos y confiables-- los resultados que se dan en la Tabla de Control General de probetas-- para tracción, pues se ha observado que no cambia la composición química de las cajas y probetas que se obtienen de una misma carga del - horno de fusión, permitiendo efectuar dicha prueba al utilizar una - sección de las probetas, lo cual evita a la vez la destrucción de ar- tículos (cajas de velocidades) al ser esta prueba destructiva.

A fin de agilizar la obtención y evaluación de los resultados-- elementos como el Zn y Ti, los cuales como se observa en los lotes an- teriores su contenido es mínimo, ya no se evalúan en todas las cargas efectuándose un análisis de dichos elementos en los lotes de materia- prima recibidos únicamente. Esta decisión fue tomada por las necesida- des de la empresa productora, la cual, al no contar con otros medios- de control químico los efectuó por vía húmeda.

Puede observarse en la Tabla General que con excepción de las- probetas 015-1-3T, 015-2-3T, 015-4-3T (para las cuales el contenido - reportado de silicio fue de 6.439), el análisis químico se especifica dentro de norma, de acuerdo a lo establecido en la norma para la alea- ción de aluminio SAE 323.

Resultados correspondientes a la inspección de defectos de fundición del 3^{er} lote

La realización de la prueba no sufrió cambio alguno respecto a los lotes anteriores y se efectuó al 100%, habiéndose obtenido los re-

sultados siguientes:

Unidades	Porcentaje
Rechazadas 112	46.86
Aceptadas 127	53.14
Producidas	
Totales 239	100 %

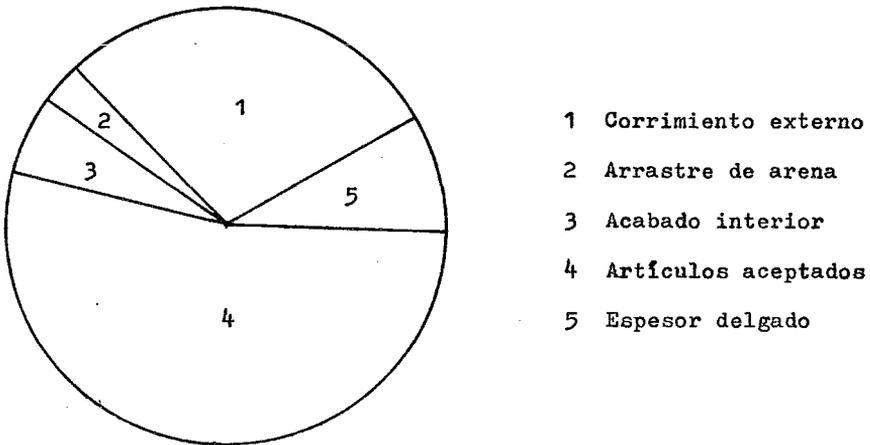
En seguida se especifica la causa de rechazo de las piezas defectuosas, utilizando para ello la leyenda correspondiente; una pieza puede haber sido rechazada por uno y/o varios defectos.

Causa de rechazo	% defectivo
Espesor delgado	18.97
Corrimiento externo	62.07
Arrastre de arena	6.90
Acabado interior	12.07

De donde se determina que las causas a controlar son principalmente en moldeo y en la sección de corazones, donde se tendrá que efectuar una inspección a fin de determinar los corazones útiles en función de su acabado.

El espesor delgado puede deberse a mala colocación del corazón en el molde o variación del mismo por efecto de la presión metalostática ejercida por el metal durante el vaciado principalmente.

La Gráfica General donde se observan más claramente los resultados numéricos dados, se muestra en seguida.



Resultados del análisis dimensional del producto correspondientes al 3^{er} lote de cajas de velocidades

El resultado de los valores individuales que constituyen la verificación dimensional básica del producto o cotas críticas de control se especifica en seguida dando el número de cota, la dimensión de dicha cota en el Plano General y los valores reportados correspondientes.

Cota Núm.	Dimensión de dibujo (mm)	Valores reportados (mm)
1	75.0 ± 0.8	75.6
2	13.0 ± 0.8	13.2
3	19.0 ± 0.8	19.5
4	65.0 ± 0.8	65.4
5	68.0 ± 0.8	67.3
6	56.0 ± 0.8	56.7
7	13.5 ± 0.8	13.64
8	263.0 ± 1.5	264.6 *
9	140.4 ± 1.0	142.0 *
10	4.5 ± 0.8	4.4
11	229.0 ± 1.5	230
12	6.0 ± 0.8	6.4

* Cotas fuera de especificación.

Tratamiento Térmico efectuado al 3^{er} lote de cajas de velocidades

El lote número 3 estuvo constituido por 127 cajas unidades, 15 de las cuales ocuparon posiciones de estudio en la canastilla de soporte, llevando estas en su interior 3 probetas para prueba de tensión, obtenidas ambas (caja y probetas para tensión) de la misma carga del horno, a fin de quedar constituidos por la misma composición química.

Las cajas y probetas para tensión se marcaron con anterioridad de acuerdo al código ya especificado en el lote 2, permitiendo así su

identificación correcta y fácil.

La solubilización fue única para toda la carga, correspondiendo a esta las siguientes condiciones de operación:

- Temperatura inicial del medio de enfriamiento 50°C
- Tiempo de transferencia horno de solubilización-medio de enfriamiento 19.1 seg.
- Tiempo de permanencia de la carga en el medio de enfriamiento 10 min.
- Grado de agitación de la carga Bueno
- Temperatura final del medio de enfriamiento 70°C

Puede determinarse con facilidad el inconveniente mayúsculo de que, el recipiente que contiene el medio de enfriamiento se encuentre unido a la cámara de solubilización por la temperatura tan elevada inicial y final del medio de enfriamiento, cuestión que impide sin lugar a dudas que la retención de fase sólida sea la óptima.

La fase de envejecimiento se efectuó en dos etapas, constituyendo la primera fase 64 unidades, entre las cuales se encuentran las cajas de velocidades y probetas para tensión situadas en las posiciones de estudio 1T, 3T, 5T, 1M, 3M, 5M, 3A y 5A.

Las condiciones de operación bajo las cuales se efectuó el tratamiento de envejecimiento a la sección A del lote 3 fueron:

- Temperatura de la cámara de envejecimiento 156°C
- Tiempo de envejecimiento 4 hrs

La sección B del lote 3 sufrió envejecimiento artificial bajo-

las siguientes condiciones de operación:

Tiempo de envejecimiento	4 hrs
Temperatura de envejecimiento	180°C

La sección B del lote 3 estuvo constituida por 63 unidades, entre las cuales se encuentran las cajas situadas en las posiciones de estudio 2T, 4T, 2M, 4M, 1A, 2A y 5A.

Es importante especificar el hecho de considerar calentamiento uniforme en la cámara de solubilización y envejecimiento, lo cual implica que las posiciones de colocación cualesquiera que sean, no influyen en forma apreciable en los resultados obtenidos. Igualmente, importante es el hecho de considerar el tiempo de permanencia en las cámaras de solubilización y envejecimiento, tomando como inicio de operación el momento en que sea uniformizada la temperatura de la cámara de solubilización o envejecimiento, según la operación que se efectúa.

Prueba de dureza

El análisis de los resultados para la prueba de dureza se efectúa para las secciones A y B por separado.

La dureza reportada por las probetas para tensión, colocadas en el interior de cajas de velocidades situadas en posición de estudio, arrojó los resultados siguientes.

Probetas Dureza Brinell
 (500 kg de carga, ϕ pen = 10 mm)

013 - 1 - 1T	86
013 - 2 - 1T	89
013 - 4 - 1T	86
015 - 1 - 3T	86
015 - 2 - 3T	86
015 - 4 - 3T	89
018 - 1 - 5T	89
018 - 2 - 5T	89
018 - 3 - 5T	86
008 - 1 - 1M	86
008 - 2 - 1M	86
008 - 3 - 1M	80
010 - 1 - 3M	89
010 - 3 - 3M	89
010 - 4 - 3M	89
012 - 1 - 5M	89
012 - 2 - 5M	89
012 - 4 - 5M	86
05 - 1 - 3A	86
05 - 2 - 3A	86
05 - 3 - 3A	86
07 - 1 - 5A	86
07 - 2 - 5A	86
07 - 3 - 5A	86



De donde se concluye que la dureza se reporta en el rango 86 -

-89 BHN, o sea, en el rango superior de especificación. También puede observarse claramente uniformidad de la dureza, lo cual implica respuesta semejante al tratamiento térmico debido al control de la composición química; también implica uniformidad de calentamiento en las operaciones de solubilización y envejecimiento del tratamiento térmico.

Las probetas para tensión que sufrieron el tratamiento térmico correspondiente a la sección B del lote número 3, arrojó los resultados siguientes.

P r o b e t a s	Dureza Brinell (500 kg de carga, pen = 10 mm)
.....	
014 - 1 - 2T	86
014 - 3 - 2T	86
014 - 4 - 2T	86
.....	
016 - 1 - 4T	80
016 - 2 - 4T	80
016 - 4 - 4T	80
.....	
09 - 1 - 2M	86
09 - 2 - 2M	86
09 - 3 - 2M	86
.....	
011 - 1 - 4M	86
011 - 2 - 4M	86
011 - 4 - 4M	86
.....	
02 - 1 - 1A	80
02 - 2 - 1A	80
02 - 3 - 1A	80
.....	

P r o b e t a s	Dureza Brinell (500 kg de carga, pen = 10 mm)
.....	
03 - 1 - 2A	80
03 - 2 - 2A	80
03 - 3 - 2A	80
.....	
06 - 1 - 4A	80
06 - 2 - 4A	80
06 - 3 - 4A	83
.....	

Determinándose que la dureza reportada para las condiciones de operación del tratamiento térmico, correspondiente a la sección B del lote número 3, está comprendida en el rango 80-86 BHN, resultado que según lo especificado para esta prueba (70-90 BHN) es bastante bueno. La confirmación de que dicho tratamiento es el conveniente, lo dan los resultados de dureza correspondientes a las cajas de velocidades que constituyeron la sección B del lote número 3, las cuales se mencionan a continuación.

Dureza de la caja de velocidades con
Tratamiento Térmico

LOTE: 3

SECCION: B

CONDICIONES DEL TRATAMIENTO TERMICO

SOLUBILIZACION T = 538°C t = 10 hrs

ENVEJECIMIENTO T = 180°C t = 4 hrs

COLADA BHN (con T.T.)

.....

3	.....	83
5	.....	86
6	.....	80
6	.....	80
6	.....	80
6	.....	83
6	.....	80
7	.....	80
7	.....	80
7	.....	83
7	.....	80
7	.....	80
7	.....	80
7	.....	80
7	.....	86
9	.....	80
10	.....	80
10	.....	80
10	.....	80
10	.....	80
10	.....	86
10	.....	86
11	.....	77
11	.....	83
11	.....	80
11	.....	80
11	.....	80
11	.....	80
13	.....	86
13	.....	86
13	.....	86
14	.....	86

COLADA		BHN (con T.T.)
.....		
14	.....	86
15	.....	83
15	.....	86
15	.....	86
15	.....	86
16	.....	86
17	.....	80
17	.....	83
17	.....	83
18	.....	80
18	.....	77
18	.....	80
18	.....	80
18	.....	86
18	.....	86
19	.....	86
19	.....	83
19	.....	86
19	.....	86
20	.....	86
20	.....	86
20	.....	80
20	.....	86
21	.....	77
21	.....	83

De donde se concluye que la prueba de dureza debe efectuarse so
bre el artículo mismo, no siendo conveniente tratar de evaluar dicha -
prueba en secciones de las probetas para tensión, como se intentaba ha
cer en este caso. Así mismo, se especifica que las cajas de velocida--
des se listaron, de acuerdo a la colada de la cual se obtuvieron, para

poder observar la correspondencia de los valores de dureza Brinell - reportados para artículos obtenidos de la misma carga del horno de - crisol basculante.

Además, no se especifica la situación de las cajas de velocidades en la canastilla de soporte que se utiliza en la operación de so-lubilización, ni la posición en la cámara de la mufla que se utiliza- para efectuar la operación de envejecimiento, correspondiendo tal de- terminación a la situación de colocación al azar de los artículos en- ambas operaciones y al hecho ya comprobado de calentamiento uniforme- en ambas fases del tratamiento térmico.

Puede determinarse que el incremento de la temperatura de envejecimiento artificial en esta fase del tratamiento térmico disminuye- la dureza. Mantener constante el tiempo de envejecimiento, es la con-clusión que se obtiene del análisis de los resultados correspondien-- tes al lote número 3.

Resultados correspondientes a la prueba de Resistencia
a la tensión

Se observan los valores reportados en la Tabla de Control General de probetas para tensión, de donde se concluye que:

a) La resistencia a la tensión reportada para el lote número 3 secciones A y B, fue aceptable en ambos casos, pues ningún valor se - reportó inferior al especificado de 30 000 Lbs/in².

b) La resistencia a la tensión se incrementa al aumentar la dureza, efecto que se comprueba al determinarse que probetas de la sec-

ción B del lote número 3 con dureza de 86 BHN (máxima dureza de esta sección), reportan resistencia a la tensión semejante a las probetas para tensión de la sección A con la misma dureza (mínima dureza Brinell de esta sección). Sin embargo, en el mismo lote B, las probetas para tensión que reportan dureza de 80 BHN, arrojaron resultados de Resistencia a la tensión inferiores en comparación con las probetas de dureza 80 BHN.

c) Al mantener invariables las operaciones de solubilización y condiciones bajo las cuales se efectuó el temple de retención de fase se observó que la resistencia a la tensión disminuye al incrementarse la temperatura de envejecimiento artificial (el tiempo de envejecimiento se mantiene también constante).

Resultado de la prueba de porosidad

En el segundo lote se presentó, durante la operación de maquinado, porosidad en el mamelon de reversa, determinándose la necesidad de eliminar tal defecto, pues es causa de decremento de la resistencia de dicha parte y, en caso de presentarse en lugares donde se forman cuerdas, puede ocasionar discontinuidad o ruptura de esta.

Las causas que provocaron tal defecto son:

- a) Turbulencia del metal durante la operación de vaciado
- b) Reacción metal-molde

Se concluyó que la situación de la parte afectada era propicia para que el defecto se siguiera presentando como consecuencia de la -

turbulencia que se originaba durante el vaciado del metal; por ello - se cambió la localización de los ataques.

En el 3^{er} lote no se reportó defecto de porosidad en ninguno - de los artículos, lo cual permite concluir que la corrección efectua- da fue la correcta.

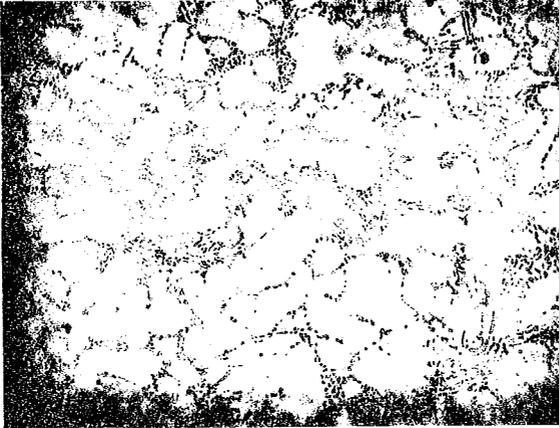
Análisis Metalográfico

(Lote núm. 3)

Como las secciones de las cajas de velocidades no son de espe- sores uniformes, se utilizó un agente modificador a fin de evitar la - estructura dendrítica típica de los materiales colados en arena; así- se observó que el agente modificador origina que el eutéctico tome - una nueva forma, en la cual el silicio eutéctico se presenta bajo la- forma de fibras muy finas (eutéctico fino globular) y bien repartidas en la matriz de aluminio que aparece en las micrografías bajo la for- ma de glóbulos y cuyo tamaño disminuye al incrementarse la rapidez de solidificación. Sin embargo, este cambio no es muy acusado, mantenién- dose así una respuesta uniforme al tratamiento térmico, originando a- la vez uniformidad en las propiedades mecánicas de las cajas de velo- cidades y mejor maquinabilidad.

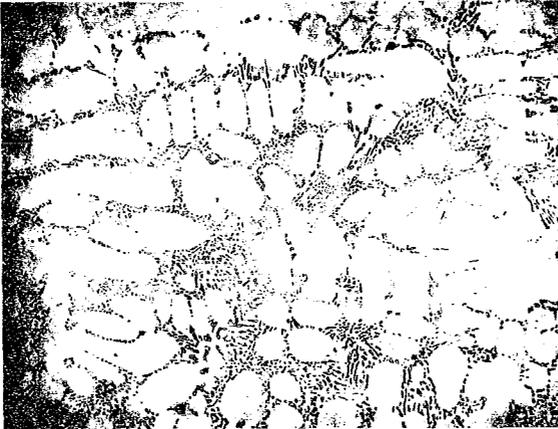
Las micrografías siguientes muestran la estructura obtenida co- mo efecto de la modificación realizada; así mismo, se especifica que- fueron tomadas a 100 aumentos y atacadas con reactivo de Keller.

Fotomicrografias representativas del lote núm. 3



CAJA: tomada al azar.

SECCION: centro del pedestal de reversa.



PROBETA: 18 - 1 - 5T.

SECCION: centro de la sección transversal de la parte de -
la probeta que sirve para sujeción en la prueba -
de tensión.

D I S C U S S I O N

Y.

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

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

I.- De cualquier artículo producido en una fundición, se exige en mayor o menor grado tolerancias dimensionales rígidas y altas propiedades mecánicas y físicas de los materiales, encontrándose así que el artículo está reglamentado por dibujos (Plano General) y normas. Para lograr que este artículo de nueva elaboración cumpla con los requisitos que se le especifican en el aspecto dimensional, debe evaluarse antes del proceso el herramental que se utilizará en la producción de este.

Se considera de primera importancia la evaluación y aceptación de la placa modelo, caja de corazones y cajas de moldeo, debiendo evaluarse estas en su aspecto dimensional, posiciones y dimensiones de pernos, guías de las cajas de moldeo y caja de corazones; es decir, el análisis se efectúa verificando los puntos referentes al uso de ellas únicamente. También debe aprobarse el equipo y aparatos de medida que se utilizarán durante la elaboración de dicho artículo.

Efectuadas las operaciones anteriores, se verifica la parte correspondiente al modelo en Si y dimensiones del corazón producido, para lo cual se ordenará la fabricación de un número de piezas (lo establece el Departamento de Mterología) suficiente para evaluar el 100% de las dimensiones especificadas en el dibujo, cuidando de que no influyan otras variables en el proceso que alteren la información que -

servirá de base para la aprobación del herramental. En caso de efectuar medidas sobre el modelo en Si, no se estarían considerando otros factores que influyen dimensionalmente en el artículo, como son la - contracción del metal, encontrándose pues más precisa y útil la aprobación de este herramental en el aspecto dimensional del modelo en Si y caja de corazones en la forma sugerida con anterioridad.

Al finalizar la evaluación del herramental en su totalidad, se utilizan los resultados obtenidos y todas las dimensiones que esten - fuera de especificación serán marcadas y señaladas para permitir su - fácil identificación, mandándose el reporte correspondiente al Departamento de Ingeniería de Manufactura, a fin de que se determine el - (o los) efecto (s) que causa (n) tales anomalías. El procedimiento se repite hasta obtener resultados correctos y confiables; es decir, has ta la total aprobación del herramental.

Aprobado el herramental se procede a la elaboración de lotes - pilotos, los cuales se utilizan para evaluar las propiedades físicas, químicas y metalúrgicas del producto, y en caso de efectuarse tratamiento térmico, también se evaluará el equipo utilizado para efectuar lo, así como para establecer las mejores condiciones de operación y - obtener los resultados finales deseables del artículo producido. De - igual importancia será el establecimiento de métodos de control para la evaluación de las propiedades que se solicitan del producto.

Cuando el producto cumpla con las propiedades que se solicitan de él y dimensionalmente sea correcto, se procederá a efectuar la pri

mera prueba funcional, para lo cual la empresa consumidora deberá especificar el número de unidades que deba constituirlo.

En la prueba funcional la empresa productora deberá evaluar el equipo utilizado para efectuarla, de no ser así, ésta no podrá realizarse. De igual importancia resulta el hecho de observar que la prueba funcional se efectúe de acuerdo al proceso normal de manufactura.

Posterior a la prueba funcional se sucede la producción del 1^{er} embarque, mismo que será evaluado por completo por el Departamento de Control de Calidad de la empresa consumidora y cuyos resultados serán reportados a la empresa productora. El resultado del 1^{er} embarque determina generalmente si el herramental y proceso de producción es el adecuado, y por lo tanto, si se procede o no a la producción en serie del artículo correspondiente.

La experiencia indica que el aplicar el procedimiento anterior en la producción de un artículo de nueva elaboración ayuda en gran medida a prevenir defectos en las piezas, reduciendo el tiempo necesario para iniciar la producción en serie del artículo. Es frecuente observar que el tratar de efectuar a la vez varias de las operaciones citadas en este procedimiento, o hacer caso omiso de alguna de ellas, acarrea graves consecuencias que repercuten en pérdidas económicas y de tiempo, o al fracaso total del producto.

II.- Las principales causas que originan variación dimensional del artículo de nueva elaboración son:

a) Colocación incorrecta de las placas modelo en la máqui

na de moldeo.

b) Mal funcionamiento de las máquinas de moldeo durante la operación de extracción del molde.

c) Desajuste de las cajas de moldeo.

d) Mala colocación del corazón en el molde.

e) Variación del corazón debido a elevada velocidad de vaciado.

f) Utilización de corazones defectuosos:

1) porque la placa utilizada en su elaboración sea incorrecta dimensionalmente.

2) por desajustes de la máquina que los produce.

g) Placa modelo incorrecta dimensionalmente, defecto que se agrava cuando no se efectúa la inspección de recibo de esta, o bien no se efectúa en la forma debida.

III.- Las operaciones de moldeo, fusión, vaciado del metal y tiempo de desmoldeo deben estandarizarse al máximo, pues de ello depende en gran medida la uniformidad de respuesta de los artículos al tratamiento térmico. Cuando no sea observado este punto, conducirá con frecuencia a resultados erróneos por no efectuar un control preventivo de las operaciones que constituyen el proceso.

IV.- El tratamiento térmico aplicable a la aleación de aluminio SAE 323 bajo las condiciones de operación especificadas fue:

Solubilización	•	Temperatura = 180°C
	•	
	•	Tiempo = 10 hr (s)
	•	

Tiempo de transferencia cámara de solubilización-medio de enfriamiento = 25 segundos máximo.

	:	Temperatura =	180°C
Envejecimiento:	:		
	:	Tiempo =	4 hr (s)

Debiendo evaluarse el cumplimiento de los siguientes requisitos:

a) Uniformidad de calentamiento y buen control de temperatura en las cámaras de solubilización y envejecimiento.

b) Usese como medio de enfriamiento agua a 25°C, a fin de lograr que la retención de fase sólida sea óptima.

Además puede determinarse que para dos lotes que han sufrido los tratamientos de solubilización y retención de fase sólida a la vez al incrementarse la temperatura de envejecimiento manteniendo el tiempo en dicha operación, la dureza disminuye.

V.- Una vez estandarizadas las operaciones del proceso productivo, el producto responde uniformemente al tratamiento térmico y este último determina la dureza y resistencia a la tensión, observándose que:

a) Al incrementarse la dureza, se incrementa la Resistencia a la tensión con la correspondiente reducción en la elongación.

b) La prueba de dureza debe efectuarse en la sección del artículo que se cita en el Plano General y no en las probetas para tensión, operación que se trata de implantar para acelerar el embar-

que del producto rumbo a la empresa consumidora.

VI.- Los principales microconstituyentes de la aleación SAE - 323 son: (Si), beta (Al-Fe-Si), (Mg-Si). Los demás elementos son solubles totalmente en fase sólida de la matriz de aluminio debido al bajo porcentaje en que se encuentran presentes. Esto es para el caso de no utilizar en el moldeo -en verde- afinadores o modificadores de grano.

En la elaboración de un nuevo producto, resulta de interés -- constituir un catálogo de fotomicrografías que constituyan parámetros comparativos.

Se determinó también que para una misma composición química - (aleación de Al SAE 323) se pueden obtener estructuras metalográficas diferentes, debido al uso de afinadores o modificadores utilizados para las aleaciones de aluminio. Además, se determina que la estructura metalográfica influye directamente en las propiedades mecánicas y de fundición, por lo que al buscar el tratamiento térmico más adecuado, es conveniente partir del principio primordial de contar con la misma estructura metalográfica.

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

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

Gerardo Schlimper. TRABAJOS DEL MOLDEADOR DE FUNDICION.
 Edit. José Montesó. España 1962.

Curso TECNOLOGIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA FUNDICION
 Edit. Soc. Mex. de Fundidores A. C. 1a. Edic. México -
 1977. Cap. I.

RECOMMENDED PRACTICES FOR SAND CASTING ALUMINUM AND MAG-
 NESIUM ALLOYS. Edit. American foundrymen's Society. DES
 PLAINES. III. Ith. Edition.

ANALYSIS OF CASTING DEFECTS. Edit. American foundrymen's
 Society. DES PLAINES. III. Second Edition 1966.

K. Alker, N. Hielsher. LA MODIFICACION PERMANENTE DE -
 ALEACIONES DE MOLDEO ALUMINIO-SILICIO. "Colada". Vol. 6
 Núm. 2. Feb. 1973. Págs. 76-84.

Leandro de Luis Martin, Serafin Ferreira R. MODIFICA---
 CION PERMANENTE DE LAS ALEACIONES AL-SI EUTECTICAS Y -
 PROXIMAS AL EUTECTICO. "Colada". Vol. 10. Números 8 y 9
 1977. Págs. 221-227.

J. J. Regidor. LA IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA METALOGRAFICA Y LA OBSERVACION DE LA ESTRUCTURA INTERNA DEL METAL "Colada". Vol. II. Núm. 4. 1978. Págs. 119-125.

Jean Charbunier, Jean Jacques Perrier, Robert Portalier. DESARROLLOS RECIENTES EN LAS ALEACIONES ALUMINIO-SILICIO CON ESTRUCTURA O PROPIEDADES GARANTIZADAS. "Colada". -- Vol. II. Núm. 11. 1978. Págs. 296-299.

Dra. Nora Lindenvald. FALLAS DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS. Edit. Prensa Universitaria Argentina. Argentina -- 1972. Cap. III.

García Poggio, José Antonio. TRATAMIENTO TERMICO DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO. Edit. Instituto Nacional de Técnica aeroespacial. Madrid 1970.

Norma ASTM E 10-66. STANDARD METHOD OF TEST FOR BRINELL-HARDNESS OF METALLIC MATERIALS.

R. H. Greaves, H. Wrighton. METALOGRAFIA MICROSCOPICA PRACTICA. Edit. URMO. España 1966. Cap. XV.

Metals Hand Book ASM. ATLAS OF MICROSTRUCTURES OF INDUSTRIAL ALLOYS. 8th. Edition. Vol. VII. Págs. 248 y 256 -- 261.