

D-7561

J70

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

"DESGASIFICACIÓN DEL ALUMINIO CON NITRÓGENO GASEOSO"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADA POR: ,

JAIME [JONIAUX MURILLO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1,987

AGRADECIMIENTO

AI ING. IGNACIO WIESNER F., por
la invaluable ayuda prestada pa
ra la realización de este trabajo.

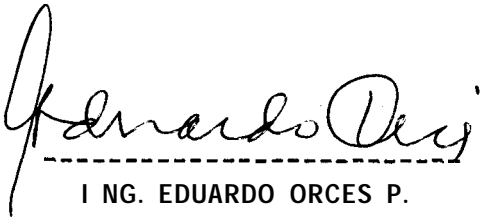
D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MI HIJO



ING. EDUARDO ORCES P.

DECANO DE LA FACULTAD

DE INGENIERIA MECANICA.



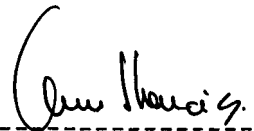
ING. IGNACIO WIESNER F.

DIRECTOR DE TESIS



ING. OMAR SERRANO V.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. ALBERTO TORRES V.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

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



JAIMÉ JONIAUX MURILLO

R E S U M E N

En la presente tesis se propone un método de desgasificación de las aleaciones de aluminio por medio de insuflación de nitrógeno gaseoso en el seno del metal en estado líquido.

Se ha usado un flujo de nitrógeno de 3.3 L/Kg - min., para desgasificar caldos de aluminio con diferentes condiciones de temperatura final (desde 750°C hasta 1.200°C). El insuflado de gas se efectuó a 750°C y 850°C.

En la evaluación del proceso se han utilizado; el método - Schneider, radiografía industrial y metalografía; obteniendo - resultados halagueños en algunos casos. .

Se recomienda programa de investigación futura a fin de afinar parámetros del proceso.

INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL-----	VII
INDICE DE FIGURAS -----	IX
INDICE DE TABLAS -----	XI
ABREVIATURAS -----	XI I
INTRODUCCION -----	14
CAPITULO I	
LA FUNDICION DEL ALUMINIO -----	16
1.1. MOLDEO -----	17
1.2. FUSION -----	22
1.2.1. Oxidación -----	27
1.2.2. Fúndentes desoxidantes -----	30
1.3. DESGASIFICACION -----	36
1.3.1. Absorción de gases -----	37
1.3.2. Influencia de la temperatura -----	43
1.3.3. Métodos de desgasificación-----	45
1.4. COLADO -----	48

	<u>PAGS.</u>
CAPITULO II	
TRABAJO EXPERIMENTAL -----	52
2. 1. PLAN GENERAL DE TRABAJO -----	52
2. 2. PREPARACION DE EQUIPO EXPERIMENTAL -----	55
2. 2. 1. Fusión y estudio de parámetros de oxidación- y desgasificación -----	61
2. 2. 2. Desgasificación -----	64
2. 2. 3. Colado -----	65
2. 3. TOMA DE MUESTRAS -----	65
2. 3. 1. Determinación del contenido de gas -----	65
2. 3. 1. 1. METODO SCHNEIDER -----	69
2. 4. CONTROL DEL MATERIAL -----	70
2. 4. 1. Ensayo de tracción -----	70
2. 4. 2. Ensayo de dureza -----	73
2. 4. 3. Ensayo radiográfico -----	73
 CAPITULO III	
DISCUSION DE RESULTADOS -----	77
DIAGRAMAS, TABLAS -----	77
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	91
BIBLIOGRAFIA -----	94

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pags.</u>
1	PROCESO DE FUNDICION -----	18
2	EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA OXIDACION DEL ALUMINIO FUNDIDO -----	29
3	EFFECTO DE LOS FUNDENTES SOBRE LA VACIABILIDAD - DEL ALUMINIO DE SEGUNDA FUSION G ALMg-----	32
4	VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS SEGUN EL DESGASIFICANTE USADO -----	38
5	SOLUBILIDAD DEL HIDROGENO EN ALUMINIO -----	44
6	COMPONENTES USADOS PARA EL COLADO DE FUN- DICIONES DE ALUMINIO -----	50
7	SECUENCIA DEL PROCESO SEGUIDO EN ESTE TRABAJO--	53
8	HORNO DE LABORATORIO -----	57
9	EQUIPO DE DESGASIFICACION EN ACCION -----	59
10	MOLDE SCHNEIDER -----	60
11	INYECCION DE NITROGENO USANDO LANZA DE ACERO---	67
12	COLADO DE PROBETAS-----	68
13	BLOQUE SCHNEIDER DESMOLDEADO -----	71

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
I	CLASIFICACION DE LOS HORNOS, SEGUN EL SUMINIS TRO DE ENERGIA -----	23
II	CARACTERISTICAS TERMICAS DE FUSION DEL ALUMI- NIO Y OTROS METALES -----	25
III	MEZCLAS DE FUNDENTES Y DESOXI DANTES PARA LA FUNDICION DEL ALUMINIO -----	34
IV	CONDICIONES DE TOMA DE MUESTRAS E INDICE DE GAS -----	66
V	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION CORRES- PONDIENTES A LAS PRUEBAS 11 a 30-----	74
VI I	RESULTADOS DE DUREZA -----	75
VI I	RESULTADOS DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL -----	90

A B R E V I A T U R A S

Fig.	FIGURA
°C	GRADO CENTIGRADO
CO ₂	ANHIDRIDO CARBONICO
Al	ALUMINIO
O ₂	OX I GENO MOLECULAR
Cal.	CALORIAS
%	PORCENTAJE
gr.	GRAMOS
cm ³	CENTIMETROS CUBICOS
ClNa	CLORURO DE SODIO
ClCa	CLORURO DE CALCIO
Al ₂ O ₃	ALUMINA
H ₂	HIDROGENO MOLECULAR
C ₂ Cl ₆	HEXAC LOROETANO
E.N.D.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
Kg.	KILOGRAMOS
mm.	MILIMETRO
.HP	Caballos de fuerza
m ³	METROS CUB I COS

INTRODUCCION

La fundición nacional de aluminio y sus aleaciones es una rama de la producción que se encuentra escasamente desarrollada. Los problemas que enfrenta este sector tienen relación con los comunes a la pequeña industria y artesanía, en este trabajo, se trata un problema que atañe a la calidad del material, con la finalidad de elevar el nivel tecnológico de los fundidores.

El reciclaje de chatarras de aluminio en la producción de piezas es práctica común, sin considerar que debe seguirse una técnica muy cuidadosa, si se quiere lograr tener materiales que cumplan con las exigencias mecánicas que imponen las normas de control de calidad.

La eliminación de porosidades causadas por la gran afinidad del aluminio con el hidrógeno, es el primer paso para desarrollar propiedades mecánicas consistentes con microestructuras de las aleaciones.

En el presente trabajo, se utiliza nitrógeno gaseoso como agente desgasificador, el cual actúa en forma física al ser insuflado dentro del baño del metal líquido mediante una lanza de acero de punta porosa, acarreado el hidrógeno por diferencias de presiones.

Este método ha sido desarrollado de tal manera que el equipo es de fácil construcción y su aplicación es sencilla, lográndose de esta manera una notable mejora en la producción de estas aleaciones, lo cual ha sido verificado en los diferentes ensayos realizados en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

C A P I T U L O I

L A FUNDICION D E ALUMINIO

La fundición de aluminio es una actividad que a nivel mundial produce grandes réditos, debido a las ventajas técnico - económicas que presenta sobre otros materiales.

En nuestro medio, esta actividad no ha florecido en los términos que debería haberlo hecho debido, principalmente a las limitaciones del mercado nacional que siempre ha propendido a importar piezas y partes de reposición basados en el hecho de que se tenían facilidades de importación pero en la actualidad, los empresarios están supeditados a la adquisición de sus repuestos en el mercado nacional.

A pesar que la fundición de aluminio y sus aleaciones, es en términos generales bastante sencilla, muchos son los problemas que han influido para retrasar su desarrollo, principalmente el escaso nivel tecnológico del área de la pro

ducción de piezas y partes de reposición, que es en realidad el sector hacia el cual está orientado este trabajo, porque las industrias que procesan este material para producir chapa laminada, tubería extruida y tubos colapsibles poseen tecnología importada a la cual no tienen acceso - los medianos y pequeños fundidores.

El principal problema con el que se enfrentan los fundidores locales es la presencia de porosidades en las piezas fundidas, lo que no les permite alcanzar la calidad adecuada para competir con las piezas importadas, limitante ésta que obliga a producir aleaciones destinadas a la obtención de piezas y partes de escasos requerimientos mecánicos. El proceso de fundición es de manera general, tal como se lo presenta en el Diagrama de Bloques que mostramos en la siguiente página (Ver figura N° 1).

1.1. MOLDEO

Las técnicas usadas en el desarrollo del proceso de fundición serán analizadas a continuación.

En nuestro medio los moldes de arena son los más usados, mientras que los moldes metálicos se usan para producción en

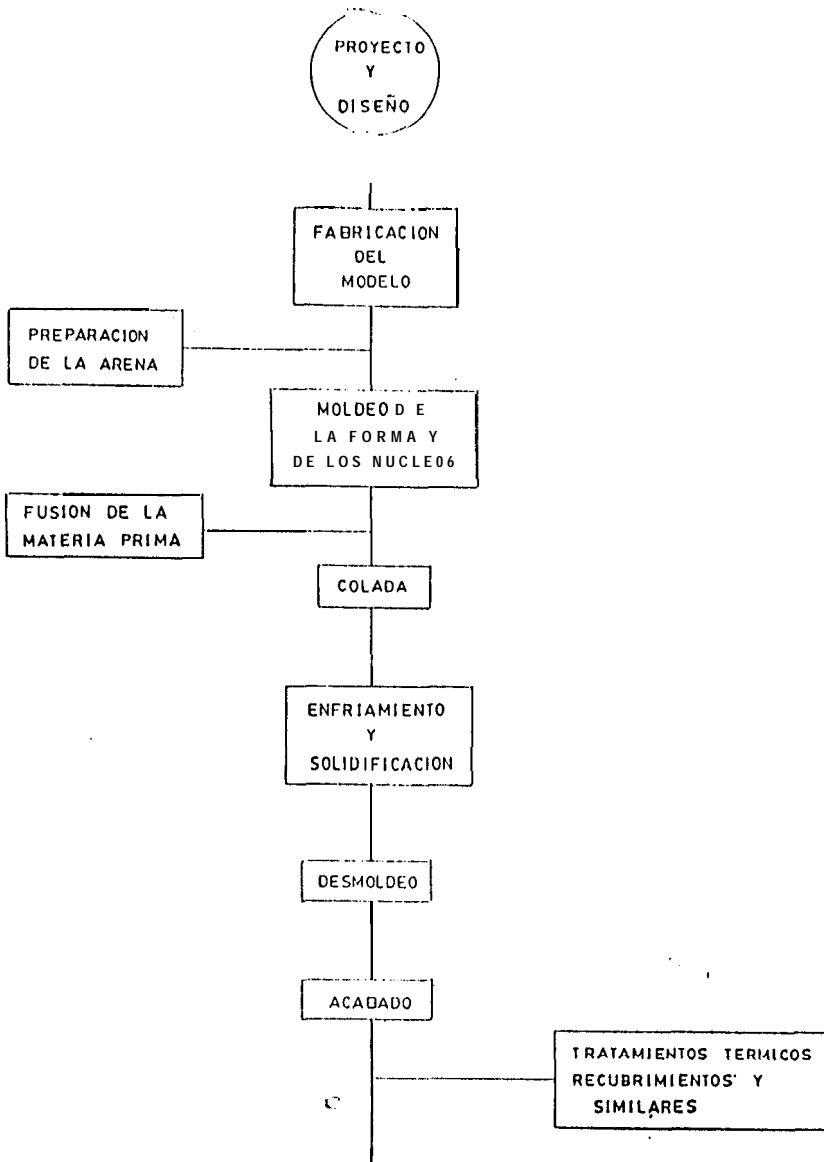


Fig 1. Proceso de Fundición

serie con máquinas de inyección. En la obtención de los moldes de arena se emplea el proceso de moldeo manual debido a que el número a producir es muy reducido, ya que se producen piezas en forma unitaria o en pequeñas series, lo cual no amerita el uso de procesos semi-automáticos o automáticos.

Para la confección de estos moldes se usa arena de Posorja,^{1,2} que es una arena natural de excelentes cualidades y bajo costo. Aunque se dispone también de arena de Limón^{2, 4} que es una arena sintética de sílice, ésta es empleada preferentemente en macheria, a pesar de que este tipo de arenas son las que mayor facilidad ofrecen en lo que a control se refiere; y, por lo tanto, su uso en fundiciones de aluminio debería ser más común. Sin embargo, los fundidores locales no justifican su uso basados en el hecho de que, para obtener los beneficios que su uso representa, se necesitará maquinaria para mezclarlas, y un procedimiento de pruebas constante para control de la calidad de la mezcla, lo cual incrementa la inversión inicial.

En cambio, debido al reducido tamaño de grano presentado por la arena de Posorja, se obtiene un buen acabado

superficial en las piezas fundidas, aunque hay que tener en cuenta que esta arena trae consigo un alto porcentaje de humedad y una reducida permeabilidad del molde. Si bien es cierto que el rango de temperatura de colado de las aleaciones de aluminio es bajo, (675°- 790° C), es estos dos parámetros deberán ser cuidadosamente controlados para evitar sopladuras y porosidades debido a la gran afinidad del aluminio por el hidrógeno. Debido a las pérdidas de arcilla que sufre la arena como consecuencia del calentamiento producido durante el colado, deberá adicionarse bentonita de vez en cuando para mantenerla en satisfactorias condiciones de trabajo.

Los machos son parte integral del moldeo y por lo tanto, deberán reunir ciertas características y que es conveniente evitar sopladuras de macho y que su eliminación, una vez efectuado el colado; sea lo más sencilla posible. En consecuencia, cuatro son las características a saber:

- a. Deben ser sumamente permeables.
- b. No deben producir gases al entrar en contacto con el metal caliente.

c. Deben contar con buenos respiraderos.

d. El aglomerante deberá quemarse con facilidad para evitar el agrietamiento de la pieza y facilitar su posterior desmoldeo.

Generalmente, para la fabricación de estos machos se usan mezclas de aceites vegetales y cereales, aunque también se usan para fines especiales resinas y materiales a base de caseína, brea, resinas sintéticas, etc. En nuestro medio se emplea con relativa extensión el proceso de silicato de sodio - CO₂.

Cada fundición y de acuerdo a sus necesidades, deberá ésta establecer normas de propiedades en su producción de machos ya que éstas pueden variar según los requerimientos mecánico-económicos de la pieza a colar. Este proceso fue estudiado por R. Calero⁵ extensivamente; y, por lo tanto, la información contenida en aquel trabajo resulta suficiente como para programar su implantación en las fundiciones locales.

1.2. FUSION

La fusión del aluminio es un proceso que se realiza mediante la adición de energía usando pare & to hornos de diferentes características, los cuales pueden ser muchos en cuanto a tipo y diseño, pero de acuerdo al tipo de suministro de energía, los hornos de fusión se clasifican en hornos de combustible, eléctricos y mixtos, tal como se presentan en la tabla I. En nuestro medio la fusión se efectúa casi exclusivamente en hornos de combustible, empleando por razones económicas kerosene o diesel.

En la presente tesis sólo usaremos aluminio de segunda fusión, que es el obtenido por la refusión de chatarras, por ser ésta la fuente de aprovisionamiento de materia prima de los fundidores locales. Esta materia prima es conseguida en los centros de acopio y posteriormente convertida en lingotes, o pasan directamente a ser convertidas en piezas, previa la fusión, sin una clasificación según la composición química, lo que va en detrimento de las propiedades mecánicas de las piezas así fundidas. Además, es menester recalcar que no se sigue un buen proceso de fusión no sólo por la falta de conocimientos, sino también por falta de

TABLA I

CLASIFICACION DE LOS HORNOS SEGUN EL SUMINISTRO DE ENERGIA

TIPOS DE HORNOS		
.HORNOS DE COMBUSTIBLE Fuel-Oil o gas	1.1. De llama indirecta	De crisol fijo De crisol basculante
	1.2. De llama directa	Rotativos De solera { basculante fijos Reverbero { De cámara { basculante fijos.
1. HORNOS ELECTRIC&	2.1. De resistencia	De solera De crisol
	2.2. De inducción	De canal { De una cámara De dos cámaras De crisol
}. HORNOS MIXTOS	3.1. De combustible e inducción	Basculantes fijos

equipos de control, que obliga a estos fundidores a de-
terminar a simple vista los parámetros de fusión.

Si bien es cierto que el aluminio tiene un punto de fu-
sión (660°C), relativamente bajo en comparación con el
bronce (900°C) o hierro (1508°C), sin embargo, se preci-
sa un 80 % ma's de calor latente para fundir aluminio
que para fundir bronce, tal como lo podemos apreciar en
la tabla I I , de donde se desprende que para obtener
éxito en el proceso de fusión es necesario poder medir -
y/o regular la temperatura del caldo puesto que una vez
que toda la carga se ha fundido, la temperatura comenza-
rá a elevarse con suma rapidez si es que seguimos con
el mismo suministro de calor ya que el requerimiento -
calórico será menor; y, mientras mayor sea el recalenta
miento a que somete al caldo mayores serán los problemas
y menor la calidad de la aleación.

Para poder controlar el proceso de fusión se necesitará
contar con un termómetro y dispositivos para el con
trol de la llama, para de esta forma regular la cantidad
de energía y la calidad de la combustión, la que a de-
cir de muchos autores, debe ser ligeramente oxidante.

TABLA II**CARACTERISTICAS TERMICAS DE FUSION DEL ALUMINIO Y OTROS METALES**

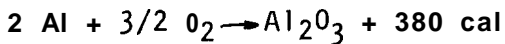
METAL	PUNTO DE FUSION °C	CALOR ESPECIFICO cal/g	CALOR LATENTE DE FUSION cal/g	CANTIDAD DE CALOR cal/g	CANTIDAD DE CALOR k. cal/cm
Aluminio	6.57	0.247	93.0	255	690
Magnesio	547.5	0.282	46.5	229	399
Cobre	1083	0.110	43.0	162	1446
Niquel	1451	0.128	73.0	258	2301
Hierro	1528	0.165	49.4	301	2382

Las técnicas que por lo general se usan, dejan mucho que desear en la actualidad y por lo tanto deben ser modificadas, pudiendo ser resumidas en los siguientes - pasos :

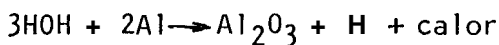
1. Acumulamiento de la chatarra a la intemperie.
2. Introduccidn de la carga pesada (chatarra), sin control de la composición química en el crisol antes de prender el horno.
3. Una vez fundida la primera parte, se sigue introduciendo la chatarra hasta que se llene el crisol demorando demasiado el proceso de fusión, con el consiguiente sobrecalentamiento de1 metal.
4. Agitamiento excesivo del caldo de aluminio con, cucharas sin previo calentamiento.
5. Sin control de ' la temepratura ni' de la calidad - de1 material fundido, se procede a llenar los moldes.

1.2.1. Oxidación

El proceso de fusión anteriormente descrito, produce en el metal un estado de deterioro causado por oxidación y por disolución de hidrógeno. El Bxido que se produce sobre la superficie de las piezas de aluminio es alúmina anhidrida cuya fórmula es:



En estado líquido la formación de óxidos se debe por lo general a la reacción del vapor de agua con el metal y la ecuación química de este proceso es :



Esta capa de Bxido que se forma en la superficie del metal líquido toma el nombre de escoria , cuando se torna demasiado gruesa, pero si el metal se encuentra en estado de reposo, ésta es la me-

por protección que se le puede brindar al baño. Si por cualquier circunstancia esta capa se rompe, es inmediatamente sustituida por otra.

La tendencia a la formación de óxidos en el aluminio líquido es muy similar a la solubilidad del hidrógeno en aluminio, tal como se muestra en la figura N^o 2.

c

Aquí la velocidad de oxidación se incrementará suavemente desde 660°C, hasta los 760°C, desde donde crecerá rápidamente al aumentar la temperatura.

En conclusión, mayor será la formación de óxidos mientras mayor sea la temperatura de fusión. Además de la incidencia de la temperatura la oxidación se torna mucho más crítica cuando se trabaja con aleaciones de aluminio con 4 % o más de magnesio, ya que éste incrementa la velocidad de formación de óxidos. Para prevenir la oxidación o combatirla en el caso que esté presente se usan los fundentes y desoxidantes.

La presencia de óxidos e hidrógeno en las funun

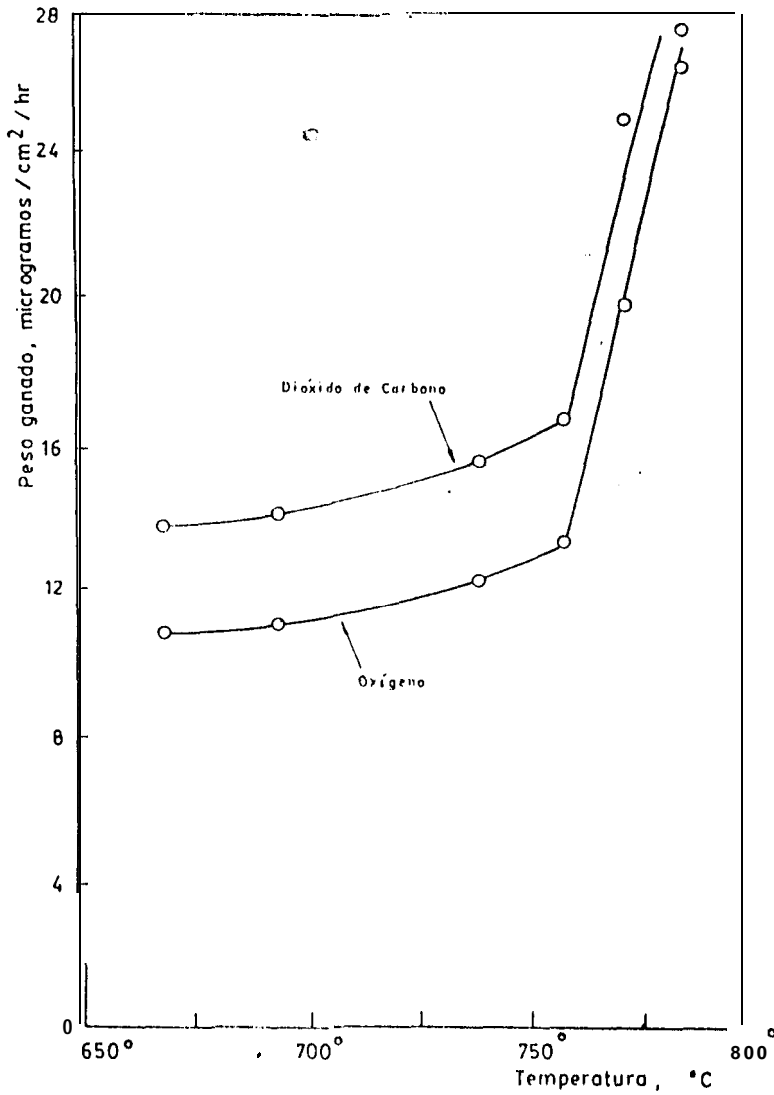


Fig.2.- Efecto de la temperatura sobre la oxidación del aluminio fundido

diciones de aluminio, disminuyen las propiedades mecánicas y por ser los óxidos extremadamente duros, dificultan el maquinado, además tienden a disminuir la fluidez y a causar por lo tanto serios problemas metalúrgicos.

1.2.2. Fundentes y desoxidantes

En la preparación de los caldos de aluminio se presentan elementos extraños tales como carburos, nitruros, óxidos, partículas de arena, carbón, etc., que determinan el uso de sustancias químicas para eliminarlos. Sin embargo, no existe una sustancia que sirva para todos los casos, lo que trae consigo la formación de dos grupos de reactivos químicos a los que se les ha dado el nombre de FUNDENTES Y DESOXIDANTES.

Los fundentes son reactivos "protectores" que evitan que la superficie del metal líquido entre en contacto con los gases presentes.

Como su función es protectora, debe poseer una densidad menor que la del aluminio líquido, es decir, 2 gr./cm^3 , aproximadamente, y más eficaz y

económica será su acción protectora en tanto y en cuanto la mezcla calentada a 800°C aparezca más fluida y forme una delgada capa de protección sobre toda la superficie del caldo. Cuando se parte de lingotes y de piezas gruesas, limpias y exentas de aceite, no es tan importante usar fundentes. Pero si se trata de refundir virutas sucias y desechos de pequeño tamaño, es sumamente importante usar fundentes ya que estos, además de proteger el caldo, aumentan su vaciabilidad tal como podemos apreciar en la figura N^o 3.

No obstante lo anteriormente expuesto, habrá que contraponer el factor económico y los efectos secundarios que su uso provoca en la elección del fundente más adecuado. Por lo general, en la preparación de los fundentes se usa como elemento base el ClNa y el ClCa , aunque éste último es bastante delicuescente.

Los desoxidantes son compuestos químicos que actúan sobre el óxido de aluminio (Al_2O_3) disolviéndolo o transformándolo en un compuesto más fácil de se

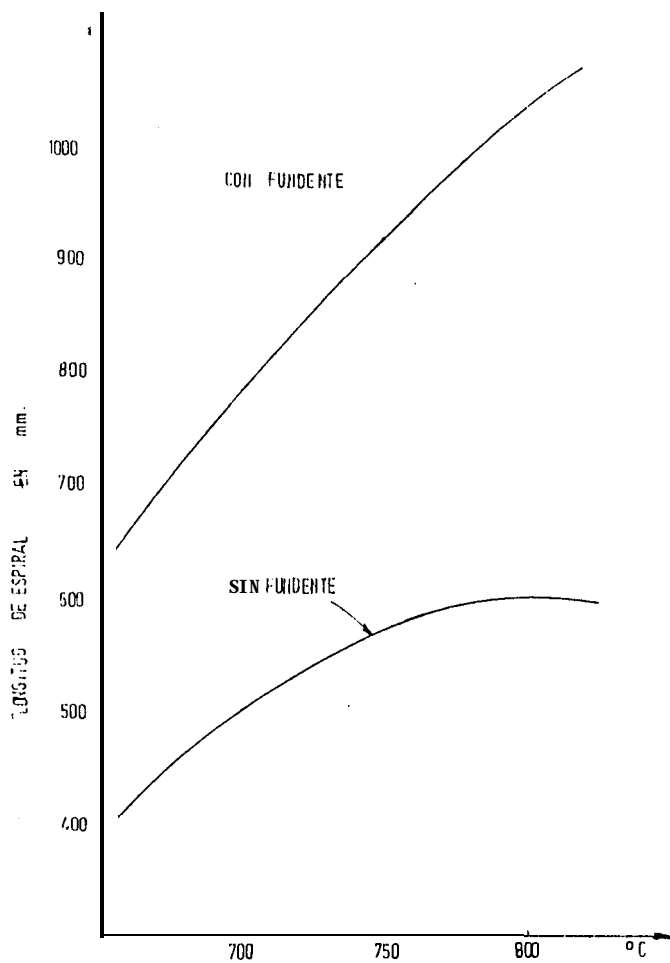


FIG. 3.-EFECTO DE LOS FUNDENTES SOBRE LA VACIABILIDAD DEL ALUMINIO DE SEGUNDA FUSION G ALMg

parar del metal líquido.

La presencia de alúmina en la masa fundida podría resultar perjudicial ya que dificultaría la reunión de los glóbulos de aluminio líquido en el fondo del crisol, y de ser así colado, se perjudicaría la resistencia mecánica de las piezas fundidas.

El más clásico disolvente de la alúmina es la CRIOLITA ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$) pero debido a su alto punto de fusión (aproximadamente 1000°C), no puede ser utilizado sólo, sino mezclado con cloruros de sodio y de potasio, de tal manera que la mezcla resultante tenga un punto de fusión entre 600°C y 650°C .

La criolita es un fluoruro doble de aluminio y sodio que se encuentra en la naturaleza especialmente en Islandia y en los Urales y por lo tanto, su adquisición resulta bastante compleja, razón por la cual no es usada en nuestro medio. En la tabla III, se proporcionan mezclas de fundentes y desoxidantes. Este tipo de prácticas, no ha sido posible detectar en las fundiciones locales,

TABLA III

MEZCLAS FUNDENTES Y DESOXIDANTES PARA LA FUNDICION DEL ALUMINIO

COMPOSICION %	PUNTO DE FUSION °C	CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO
Criolita 15 NaCl 85	725	Fundiciones de características generales. Escado poder desoxidante
Criolita 15 NaCl 60 KCl 25	660	Desoxidante de uso general, indicado para aleaciones Anticorodal
Criolita 50 Na ₂ CO ₃ 45 NaCl 35	748	Desox. de uso general
ZnCl ₂ 50 NaCl 50		Desox. para aleaciones tipo Al-Cu y Al - Zn.
ZnCl ₂ 75 NaCl 20 KCl 5		Desox. para aleaciones tipo - Al-Cu y Al - Zn
NaCl 75 CaCl ₂ 25	740	Fundente para la recuperación de virutas,escorias y cenizas
NaCl 78 NaF 27	675	Funden. desoxi. para recuperar de escorias, cenizas y virutas
MgCl ₂ 33 NaCl 33 KCl 33		Desox. para aleaciones Al-Mg : f luido. delicuescente.

continua....Tabla III

MgCl ₂	58		Desox. para aleaciones Al-Mg:
NaCl	24		f luido.
KCl	18		delicuescente.
MgCl ₂	55		Desoxi. para aleaciones Al-Mg.
KCl	39		menos fluidos que los precedentes
CaF ₂	6		(preferibles) higroscópico.
MgCl ₂	50		Desox. para aleaciones. Al-Mg,
NaCl	7		buena fluidez
KCl	36		higroscópico.
CaF ₂	7		
MnCl ₃		650	Desgasificación para aleaciones
			Al-Mg (7-12% Mg).

lo que refleja el escaso nivel tecnológico del sector, induciendo esto a que la ESPOL estudie y desarrolle estas técnicas, y posteriormente las transfiera hacia este sector de la producción.

1.3. DESGASIFICACION

Cuando comienzan a incrementarse los requerimientos mecánicos sobre las piezas de aluminio fundido, es imprescindible el tratar de mejorar la calidad de las fundiciones. Uno de los principales problemas radica en la presencia de porosidades y que su eliminación o minimización es vital para la consecución del fin propuesto. Es así como la eliminación de gases o desgasificación cobra una real importancia y los métodos de desgasificación proliferan.

La investigación en esta última década ha sido llevada por dos frentes, tratando el problema como una solución de gas en líquido en un caso, y por lo tanto, se lo ha tratado físicamente. En el otro caso, se ha tratado químicamente el problema esperando combinar los gases disueltos para que sean más fácilmente removibles, o si son químicamente estables, su presencia no afecte las

propiedades mecánicas del metal.

La desgasificación tratada desde el punto de vista físico es bastante sencilla, en cuanto a la acción misma de desgasificar, pero debido a la carencia de métodos de control, su uso no está muy difundido.

El empleo de desgasificantes tiene cierta influencia sobre las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio, y en el caso de la resistencia a la tracción, se presentarán variaciones que dependen del tipo de desgasificante empleado, tal como se puede apreciar en la figura N^o 4, en la que se muestra cuatro aleaciones, tratadas cada una de ellas con cinco tipos de desgasificantes.

1.3.1. Absorción de gases

Estudios realizados por muchos autores sobre la solubilidad de los gases en aluminio, han llegado a la conclusión de que únicamente al hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno se los puede encontrar disueltos en el aluminio ya que los restantes son prácticamente insolubles en él.

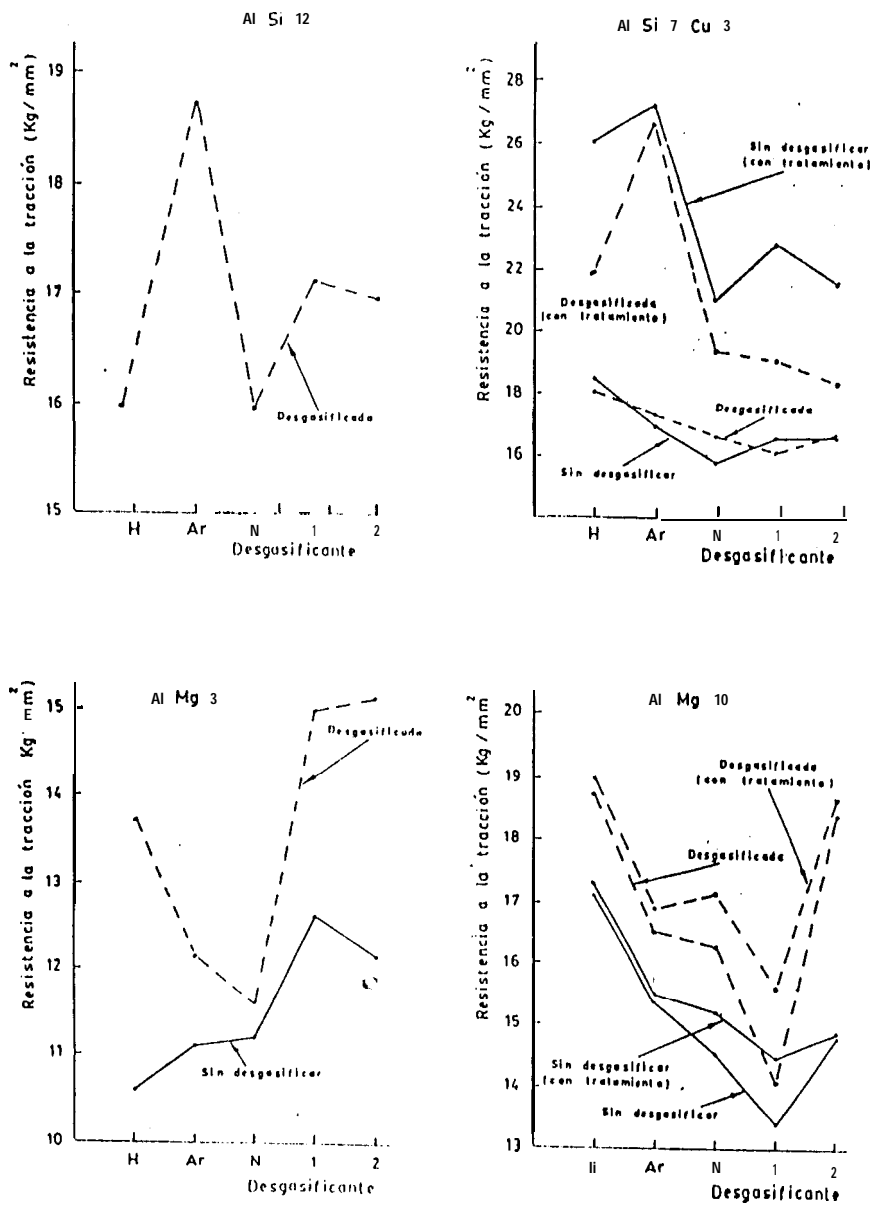


FIG.4.- VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS SEGUN EL DESGASIFICANTE USADO.

Dado que la presencia de gases en las fundiciones de aluminio es considerada por muchos como uno de los factores que gobiernan su calidad, se requerirá entonces la menor cantidad posible de gas. Cuando el gas se presenta en grandes cantidades, un serio defecto aparece en las fundiciones, el cual es conocido como porosidad, es decir, una gran cantidad de agujeros pequeños en toda la masa de la pieza fundida (Pinhole).

La absorción de gases también trae como consecuencia una variación en el porcentaje de contracción, no obstante este problema no es adecuadamente considerado por los fundidores. Una pequeña cantidad de gas añadida a la colada de aluminio minimizará las dificultades de contracción en la pieza fundida, pero se presentará como porosidad. Este efecto del gas sobre la contracción debe ser tomado en cuenta desde el momento mismo del diseño de la pieza, especialmente cuando la pieza presente paredes de diferente espesor, ya que aquí los problemas de contracción son mayores. Los gases (porosidades) actúan sobre las propiedades mecánicas, reduciendo la resistencia a la tracción y la

elongación, pero el límite elástico no es esencialmente afectado.

Estudios recientemente efectuados por numerosos metalurgistas, han demostrado que solamente el hidrógeno es soluble en cantidad apreciable como para causar defectos metalúrgicos, razón por la cual las investigaciones sobre la absorción de los gases se ha centrado en la absorción de hidrógeno.

El conocimiento de la procedencia del gas proporciona la clave para hacer mínima su absorción, debido a que las condiciones en un taller de fundición pueden variar de un día a otro, es menester revisar todas y cada una de las fuentes de hidrógeno cada vez que se vaya a fundir. Entre las fuentes más importantes de hidrógeno, tenemos las que a continuación se detallan:

Los humos de los hornos de combustión contienen ciertos porcentajes de humedad, que en algunos casos pueden llegar a ser críticos. El control de la combustión es sumamente importante en hornos que queman combustibles líquidos o gaseosos existiendo la tendencia a trabajar con llama ligeramente oxidante, ya que la cobertura de óxido de aluminio que se produce en la superficie del baño, tiende a protegerlo de posterior

reacción con oxígeno o vapor de agua.

La humedad atmosférica es otra de las fuentes de hidrógeno y varía desde menos de un gramo por metro cúbico de aire en climas secos, hasta treinta gramos por metro cúbico en clima húmedo y cálido. Esta fuente de gas adquiere particular importancia durante el trasvase de los caldos o en cualquier otra operación de manejo del metal en la cual se rompe la película de óxido y el caldo entra en contacto con la atmósfera. Con condiciones favorables de fusión las posibilidades de absorción de hidrógeno de la humedad de la atmósfera son muy reducidas, incluso con humedades hasta de 16 a 23 gramos por metro cúbico. Pero bajo condiciones menos favorables las dificultades pueden comenzar con humedades de 5 a 7 gramos por metro cúbico. Entonces el manejo del metal desde el horno a las cucharas de colado y de allí al molde, es una operación delicada.

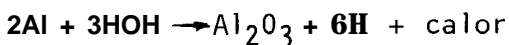
Los gases que están presentes en el exterior de todas las superficies de aluminio en forma de películas absorbidas retenidas físicamente y productos de reacción o corrosión son también una fuente importante de hidrógeno que hay que considerar, así como también la humedad que estuviere presen-

te en la superficie de las herramientas frías, tales como espumaderas, cucharas, agitadores, etc.

Además de lo anteriormente expuesto, hay que tomar en cuenta que la humedad del molde, la cual entra en contacto con el metal líquido en el momento del vertido, por lo que el diseño de canales y bebederos debe tender a minimizar la turbulencia reduciendo así la absorción de hidrógeno.

La introducción del hidrógeno molecular (H₂) en el baño del metal líquido se efectúa mediante un proceso exotérmico que consiste en la absorción en la superficie del metal y su posterior difusión hacia el interior en estado atómico.

Cuando es vapor de agua, la fuente de humedad, se produce alúmina (Al₂O₃) e hidrógeno atómico (H) siendo esta reacción acompañada de un desprendimiento de energía, tal como lo indica la siguiente ecuación.



Para dar una idea de lo perjudicial que puede resultar la presencia de hidrógeno, podemos señalar que con altos porcentajes de humedad, en un metro cúbico de aire puede haber hasta 13 gramos de vapor de agua, que se comportase como lo hemos descrito en la fórmula anteriormente descrita, se liberará más de un gramo de hidrógeno, el cual sería suficiente para provocar tales fallas que una tonelada de aluminio fundido podría ser rechazada.

1.3.2. Influencia de la temperatura

La solubilidad de los gases en metales líquidos se encuentra regida por las leyes de la Física las cuales determinan que la solubilidad aumenta al aumentar la temperatura, en el caso del aluminio sucede así, pues la solubilidad aumenta al aumentar la temperatura.

Esto se puede apreciar gráficamente en la figura N°5, en la que se denota un brusco incremento de la solubilidad al pasar los 704°C (1300°F), siendo mayor la tendencia para el aluminio puro. Como la elevada temperatura es perjudicial para el caldo, la

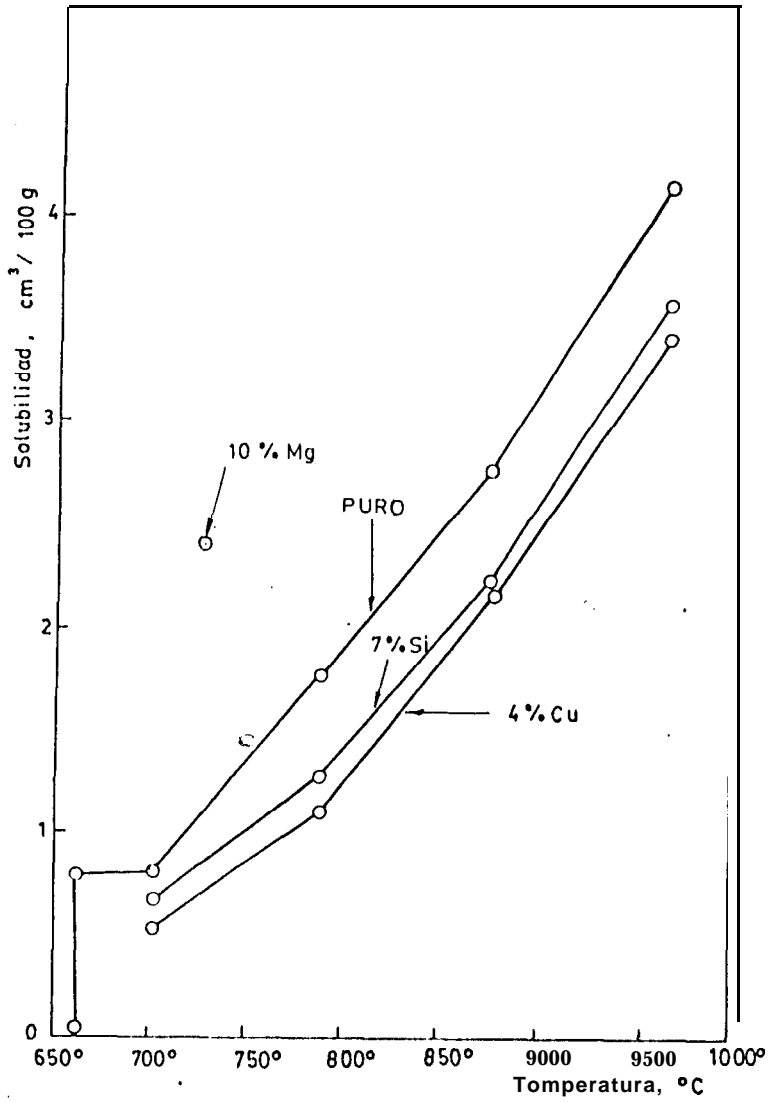


FIG. 5.- SOLUBILIDAD D E L HIDROGENO E N ALUMINIO

disposición de bebederos, canales y entradas deben ser minuciosamente calculadas para poder emplear temperaturas de colado relativamente bajas, evitando así el innecesario recalentamiento del metal.

Queda en tonces claro que cuanto se preparan caldos para fundición, es menester tener en cuenta que la temperatura de colado y el tiempo de fusión deben ser mínimos, ya que de estos parámetros dependerá la absorción de los gases.

Las fundiciones de aluminio no deben nunca sobrepasar los 800°C a menos que sea imprescindible el hacerlo, ya que las piezas coladas de gran sección tendrán una marcada tendencia al crecimiento excesivo de grano y presencia de porosidades.

1. 3. 3. Métodos de Desgasificación

En los últimos años, muchos son los métodos de desgasificación que se han inventado, tratando de eliminar la mayor cantidad posible de gases disueltos, pero el éxito de cada uno de ellos es muy discutido.

Actualmente se practica la desgasificación mediante dos métodos. En el primero se usa gases, los cuales borbotean en el interior del metal líquido logrando un doble efecto:

- a. Agitación, desprendimiento y arrastre mecánico de los gases en sobresaturación.
- b. Desplazamiento del equilibrio hacia una desgasificación, porque cada burbuja es vacío respecto al hidrógeno.

En este método el mecanismo por el cual el hidrógeno es removido, no es conocido muy precisamente pero la mayoría de los metalurgistas coinciden en que se trata de un efecto puramente físico. Las burbujas de gas introducido representan áreas de baja presión con respecto al hidrógeno disuelto en el metal, lo cual hace que el hidrógeno se traslade hacia la burbuja de gas y juntas lleguen hacia la superficie y de esta forma puedan salir del aluminio líquido.

En el descenso de temperatura, en los límites donde comienza la solidificación ocurre un incremento de la cohesión intermolecular que hace que el hidrógeno se precipite fuera de la solución en el momento mismo de la

solidificación, quedando atrapado en el metal. En tonces pat-a poder desgasificar el metal líquido debemos artificialmente incrementar la presión interna. Consecuentemente las burbujas del gas inerte - que se introduce al ocupar un volumen incrementan la presión interna e incitan al hidrógeno a precipitarse y salir del seno del metal líquido tal como lo habíamos descrito anteriormente.

La eficiencia del proceso será mayor entonces, mientras menor sea el tamaño de las burbujas y mayor la cantidad de gas borboteado. Generalmente se usa como gas inerte nitrógeno, argón, cloro, freón 12 o mezclas de ellos, aunque el cloro actúa también químicamente.

En el 'Segundo caso se usa un compuesto químico llamado hexaclorohetano (C_2Cl_6) el cual se lo presenta comercialmente en forma de pastillas o en polvo. Cuando se introduce en el seno del metal líquido se volatiliza, desprendiéndose el 'cloro, el mismo - que producirá la acción desgasificadora, tanto - en forma física como en forma química puesto que el cloro forma con el hidrógeno, cloruro de hidrógeno.

Un método muy raramente usado, más que nada por razones económicas, consiste en someter al metal líquido a una cámara de vacío, con lo que se disminuye la presión sobre el metal y el hidrógeno puede salir fácilmente.

1.4. COLADO

El colado o vertido al aluminio líquido hacia los moldes, debe ser efectuado de manera continua y desde la menor altura posible, para evitar así turbulencias que traen consigo la formación de escorias y la absorción de gases.

Para obtener buenos resultados durante el colado es necesario tener en consideración que al empezar a colar, la taza del bebedero ha de llenarse lo más rápido posible y deberá mantenerse así, mientras se efectúa el colado. Como generalmente se forma escoria en la superficie del caldo, éste ha de limpiarse para evitar la formación de inclusiones de escoria en la pieza que será colada.

Pero quizás la mayor influencia tenga sobre la obtención

de una buena técnica de colado es el cálculo y disposición de los sistemas de ataque y mazarotas, debido a que de esto dependerá en gran parte el éxito de la fundición, pero teniendo siempre presente los tres objetivos siguientes:

1. Tratar de llenar por completo la cavidad del molde con mínima: temperatura de colado y velocidad de vertido lo más baja posible.
2. Minimizar turbulencia y arrastre de gas del molde durante el llenado.
3. Propender a una solidificación direccional, proporcionando al molde gradientes de temperatura que se encuentran hacia la fuente de alimentación tratando de disminuir los problemas de contracción.

Varios son los componentes de los sistemas de llenado que se usan, mismos que dependen de la geometría y volumen de la pieza a fundir, pero la mayoría de los componentes generalmente usados se los puede apreciar en la figura N° 6.

e

Teóricamente un bebedero con reducción progresiva de la sección transversal es el mejor diseño, pero el cálculo de la garganta del bebedero es el más importante paráme-

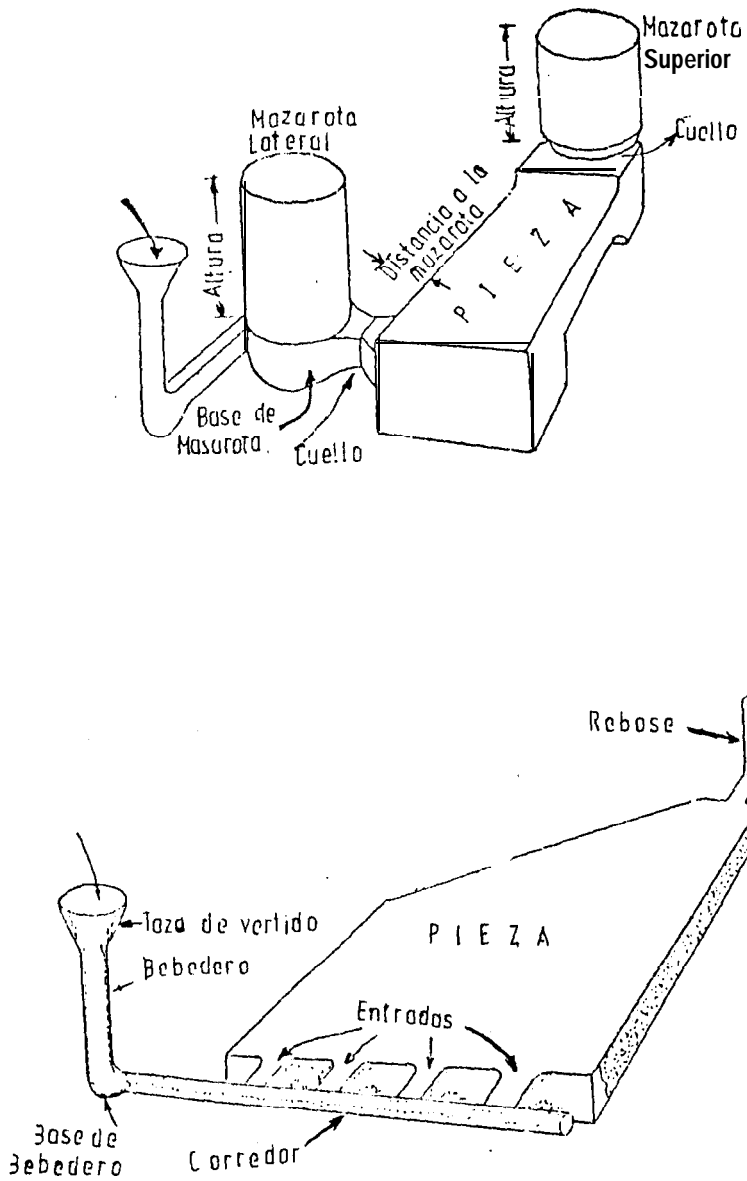


FIG.6.- COMPONENTES USADOS PARA EL COLADO DE FUNDICIONES DE ALUMINIO.

tro dentro del sistema de llenado, por cuanto este garantiza que la pieza llene con una velocidad adecuada y sin turbulencia evitando así la aspiración de gases del molde, la formación de óxidos o el atrapamiento de gases que traigan consigo piezas defectuosas.

Los canales de colado tienen dos propósitos importantes:

1. Proporcionar un canal a través del cual el metal sea uniformemente distribuido alrededor del molde.
2. Como trampas naturales donde los gases y óxidos que den a trapados.

Las entradas hacia la pieza deben ser calculadas y su posición y distancia al canal de colado se deben determinar cuidadosamente para garantizar un buen llenado. De manera general la Sociedad Americana de Fundidores recomienda usar relaciones garganta - canales - entradas de 1:4:4, es decir sistemas que tiendan a disminuir la velocidad de llenado, evitando la turbulencia.

CAPITULO I

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1. PLAN GENERAL DE TRABAJO

Este capítulo está orientado a desarrollar un proceso económico y de fácil aplicación, que permita desgasificar las aleaciones de aluminio, mejorando la calidad de las mismas.

Para llegar a cumplir este objetivo, se analiza la influencia de la variación del tiempo y temperatura de fusión sobre el grado de disolución de gas en el metal líquido de una forma semicuantitativa, mediante el método citado por Schneider¹⁰ para demostrar las bondades que ofrece el método propuesto.

A fin de realizar las pruebas experimentales, se procedió a realizar un plan de trabajo que incluyera los pasos secuenciales de los procesos, ver figura N° 7.

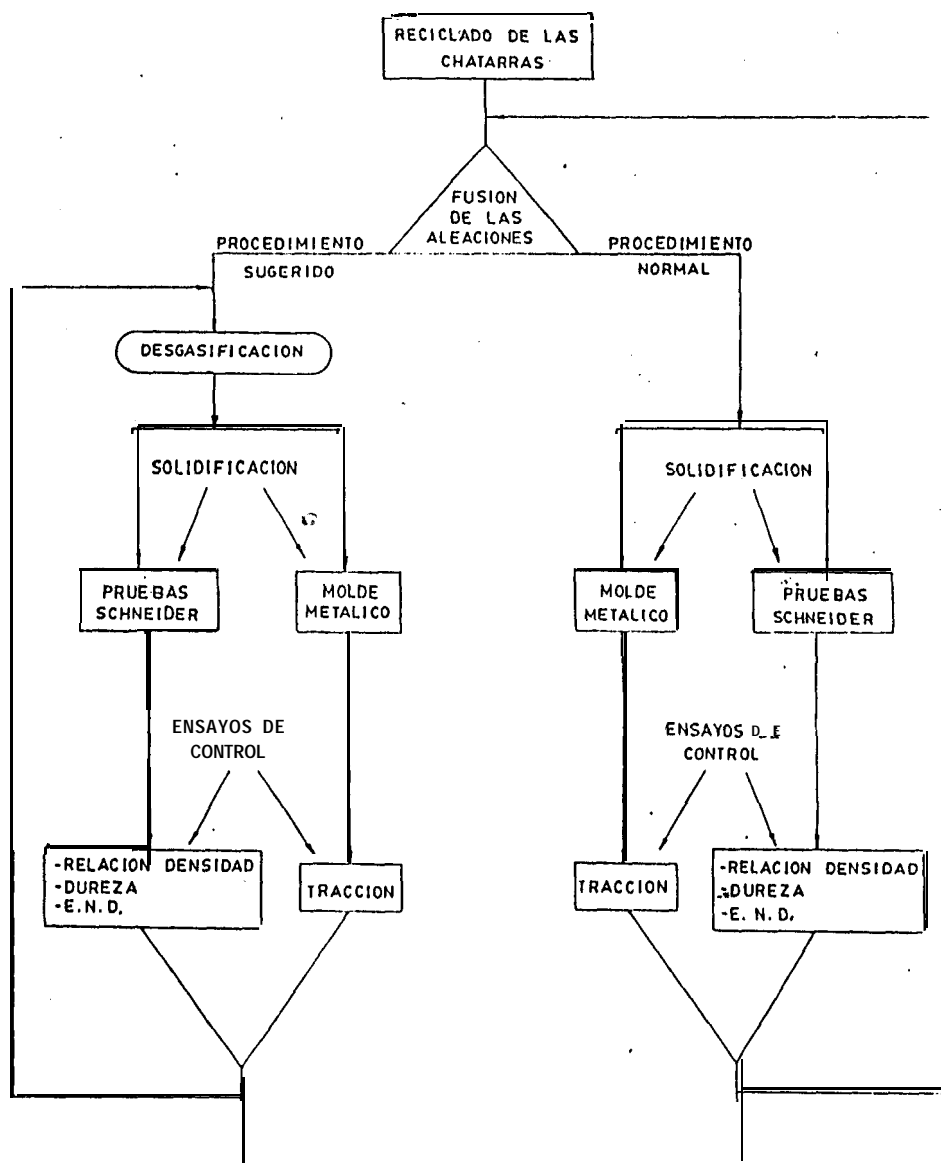


Fig 7. Secuencia del proceso seguido en este trabajo

Para las pruebas se usaron tres aleaciones de composiciones típicas con las que los fundidores cuentan para hacer piezas y que para propósito de una nomenclatura fácil de usar posteriormente se las identificó de la siguiente manera:

Aleación I - Constituida por chatarras de conductores eléctricos (70 %) y pistones (30 %).

Aleación II - Aleación 6063 (The Aluminium Association).

Aleación III - Aleación aluminio 5 % silicio.

Con la finalidad de poner a punto el proceso, se realizó con la aleación II algunas pruebas a las que se las enumeró del 1 al 10; efectuándose cinco coladas - en las que se varió la temperatura de trabajo y se mantuvo constante el volumen de nitrógeno introducido.

Debido a la poca disolución de gas encontrado en estas primeras experiencias se efectuó una nueva serie de pruebas con la aleación I, tendiente a determinar la posible variación en el porcentaje de disolución de gas, a

las que se las enumeró del 11 al 30.

Además, se trataba de encontrar referencias en cuanto a temperaturas de trabajo, caudal y tiempo de inyección de nitrógeno que permitieran determinar el volumen más adecuado de nitrógeno a introducir.

Finalmente se efectuaron, con la aleación III, pruebas correctivas enumeradas del 31 al 40.

También fue necesario hacer otras actividades colaterales previas a las pruebas, así como:

- Diseñar y construir los equipos y herramientas
- Determinar la técnica de fusión y desgasificación.
- Realizar ensayos previos para definir tipo de control sobre el proceso y el metal.

2.2. PREPARACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

Los equipos que se construyeron para llevar a cabo este trabajo fueron:

- Equipo de fusión;
- Equipo para realizar la inyección de nitrógeno.

- Moldes pat-a muestras para el control del proceso y propiedades del material.

◀

EQUIPO DE FUSION

Para la experimentación fue imprescindible el uso de un horno de fusión de laboratorio, el mismo que permitió una limpia y controlable operación de fusión. Este equipo es un horno de crisol cuyas dimensiones están dadas en el diagrama mostrado en la figura N° 8.

Este horno puede albergar un crisol de hasta 10 puntos, lo que implica una capacidad máxima de 3.5 Kg., de aleación de aluminio. La tapa de este horno se desplaza manualmente y los gases de la combustión escapan por un orificio central de 35 mm., de diámetro. El revestimiento interior fue hecho con una mezcla de arena de sílice, bentonita y ladrillo refractario molido, efectuándose el apisonado en forma manual. El suministro de energía se lo efectuó mediante la combustión de gas propano-butano, que es mezclado con aire en un quemador con la ayuda de un ventilador de 0.125 HP.

EQUIPO PARA REALIZAR LA INYECCION DE NITROGENO

Este equipo consta de una botella de 6 m^3 con nitrógeno en

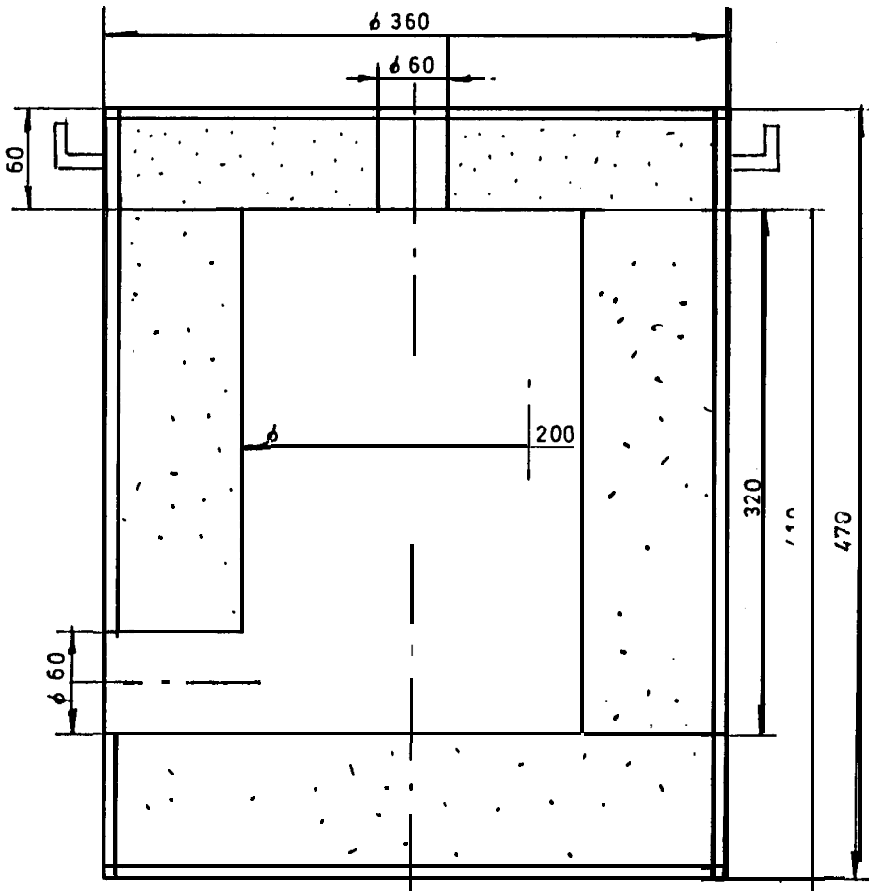


Fig 8.- Horno de laboratorio

cuya salida está acoplado un flujómetro para controlar el caudal, el mismo que es regulado antes de cada operación, una válvula solenoide de 6 vatios y 12.5 mm. de diámetro instalada a continuación del flujómetro y accionada por un temporizador de 0 a 60 segundos por ciclo, lo que permite insuflar la cantidad de nitrógeno deseado, variando el caudal o el tiempo de soplado.

Para efectuar esta inyección, se usó una lanza de acero. Este conjunto puede ser apreciado en la figura N° 9.

MOLDES PARA MUESTRA PARA EL CONTROL DEL PROCESO Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

Para controlar el proceso de desgasificación, se construyó un molde para colar probetas de ensayo según el método - Schneider, ver figura N° 10, y para el control de propiedades se construyó un molde mediante el cual se obtuvo barras para ensayos de tracción.

Las probetas para el control de dureza y radiografía, se obtuvieron de las probetas Schneider.



Fig. 9 Equipo de desgasificación en acción.

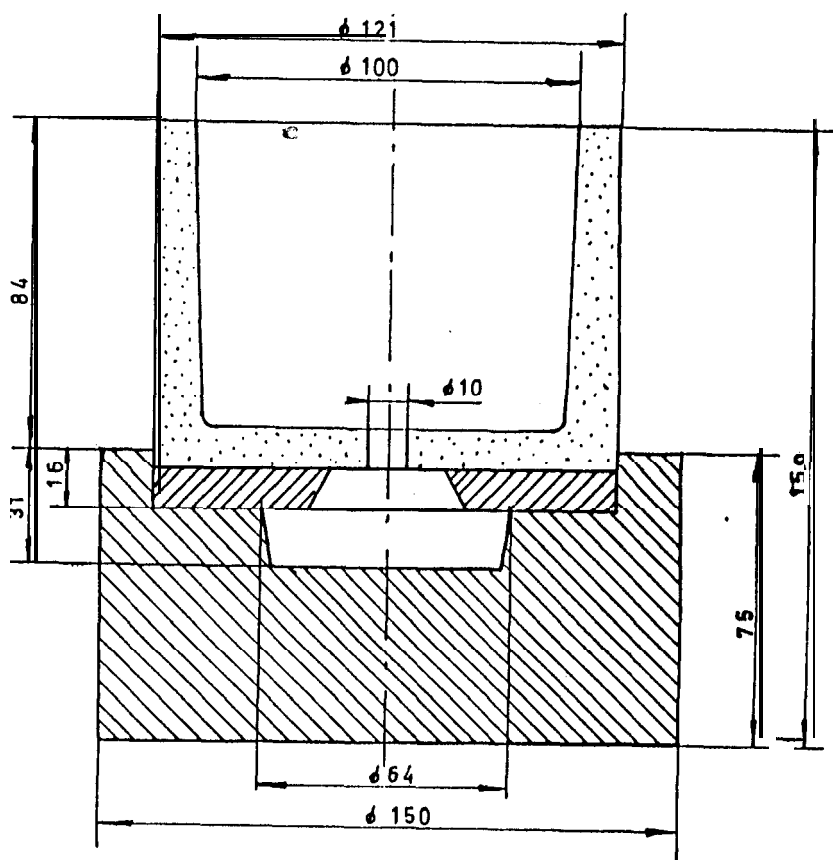


fig 10. Molde para colar probetas de ensayo
Schneider

2.2.1. Fusión y Estudio de los Parámetros de la Oxidación y Desgasificación

Se inició la experimentación con la clasificación y lingoteamiento de la chatarra y posteriormente se preparó las aleaciones según el caso.

Antes de la introducción de la chatarra se efectuó un precalentamiento a fin de eliminar la humedad. Una vez precalentada se la introdujo en el crisol junto con el 20 % del total del fundente a usar. Fue llevado entonces el metal a la fase líquida y se adicionó el resto del fundente para proteger el caldo de los gases de la combustión y de la humedad atmosférica.

Posteriormente, se removió la escoria y los residuos de fundente sin agitar el caldo. Se adicionó un pequeño porcentaje de fundente y se elevó la temperatura del caldo hasta alcanzar la de colado, colando entonces el metal en lingoteras previamente calentadas.

La aleación I se preparó lingoteando por separado, de sechos de conductores eléctricos y de pistones

automotrices y se hicieron lingotes de cada uno de los materiales.

Con los lingotes se preparó la aleación consistente en 70 % de 1 lingotes de aluminio puro y 30 % de lingotes provenientes de ptones. La fusión se la realizó de la misma manera que en la fase de lingoteo, pero se adicionó, en vez de fundente, una mezcla fundente - desoxidante del cloruro de sodio y cloruro de calcio ($\text{ClNa}-\text{Cl}_2\text{Ca}$) en proporciones que variaron con la finalidad de obtener la más adecuada. La aleación II se la obtuvo lingoteando de igual forma aleación 6063, mientras que la aleación III se la obtuvo al preparar aleación de aluminio al 5 % de Si.

En las 10 primeras y 10 últimas pruebas se varió la temperatura en un rango entre 900 a 1200°C y se mantuvo el caldo a temperatura de trabajo durante veinte minutos.

Desde la prueba 11 a la 30, la temperatura se la varió en un rango de 800 a 1000°C y la fusión duró de 30 a 65 minutos.

Una vez alcanzada la temperatura y/o el tiempo de trabajo predeterminada, se retiró la fuente de calor, se limpió la superficie del caldo y se siguió el esquema establecido.

OXIDACION Y DESGASIFICACION

Terminada la etapa de fusión, se procedió al colado de las probetas correspondientes al material sin desgasificar, el mismo que es representativo de las fundiciones locales. De aquí en adelante se pone en práctica con el sobrante del material, la desgasificación. Luego se efectúa el colado de las probetas de ensayo Schneider y barras para probetas de tracción que servirán para determinar los parámetros más adecuados de desgasificación y el control de propiedades, respectivamente.

El control del proceso se lo efectuó a medida que la experimentación avanzó y se realizaron las correcciones necesarias.

El control de la desgasificación fue inicialmente cualitativo, mediante un examen visual sobre la sección de la probeta Schneider, Posteriormente se

realizó un examen más detallado a través del método de relación de densidades de Schneider, mediante ensayos de radiografía industrial y microscopía.

2.2.2 Desasificación

En el proceso de desgasificación se usó nitrógeno gaseoso AGA, que fue introducido en el caldo a una temperatura de 750°C en las 30 primeras pruebas, mientras que en las restantes se desgasificó a 850°C con un caudal que se mantuvo constante en 5 litros por minuto, tratando de encontrar una relación de VOLUMEN DE NITROGENO/MASA DE ALUMINIO, por lo que en las pruebas comprendidas de la 11 a la 30, se varió el tiempo de gaseado. En las demás pruebas la inyección de nitrógeno se lo realizó durante 60 segundos.

La lanza de acero fue precalentada hasta el rojo mate y luego se la introdujo en el metal, poniendo la punta a aproximadamente 10 mm., del fondo del crisol, haciéndola rotar suavemente tratando de recorrer toda la superficie del fondo del mismo, para que toda la masa del caldo reciba el -

efecto del nitrógeno. Ver figura N° 11.

2.2.3. Colado

Con la finalidad de obtener probetas para efectuar los ensayos mecánicos y Schneider, se realizó el colado de barras y bloques (Ver figura N° 12), a partir de las cuales se confeccionó las probetas requeridas.

2.3. TOMA DE MUESTRAS

En cada una de las experiencias se colaron dos bloques y una barra a la sección del ensayo donde no se desgasifica y las restantes a la sección donde se efectúa la inyección de nitrógeno.

Las muestras sin desgasificar se las obtuvo a aproximadamente 800°C en las 30 primeras pruebas, mientras que en las 10 últimas se coló a temperatura de trabajo. Las condiciones en que se tomaron las muestras están dadas en la., tabla N° IV .

2.3.1. Determinación del contenido de gas

La determinación del contenido de gas se realizó

TABLA IV

CONDICIONES DE TOMA DE MUESTRAS E INDICE DE GAS

Prueba	Tiempo de fusión (min)	Temperatura de colado (°C)	Temperatura e mantenim. (°C)	Tiempo a temperatura de mantenimiento (min)	Temperatura de colado de probeta desgasificada(°C)	Tiempo de desgasificación (seg)	Indice de gas
1	50				650	60	98,53
2	50	850	1100	20			99,26
3	50				640	60	99,62
4	50	870	990	20			98,89
5	45				640	60	98,09
6	45	850	950	20			98,52
7	45				720	60	98,16
8	45	900	950	20			90,51
9	45				750	60	90,53
10	45	850	900	20			98,06
11	65				636	160	99,25
12	65	807					96,65
13	60				650	150	99,62
14	60	818					97,37
15	55				650	120	97,41
16	55	815					94,38
17	50				685	90	97,39
18	50	800					98,51
19	40				680	35	99,26
20	40	800					97,79
21	45				708	60	100,00
22	4 5	795					98,16
23	35				670	40	99,63
24	35	810					102,59
25	60				665	20	107,70
26	60	850					3H 18
27	30				700	30	99,63
28	30	790					99,25
29	30				650	10	99,64
30	30	780					90,22
31	55				960	60	99,27
32	55	1185	1200	20			99,61
33	53				800	60	98,56
34	53	1100	1200	20			99,24
35	45				810	60	97,78
36	45	1010	1056	20			98,85
37	45				800	60	90,89
38	45	980	1000	20			97,39
39	45				790	60	98,16
40	45	930	950	20			97,02



Fig. 11 · Inyección de Nitrógeno usando lanza de acero.

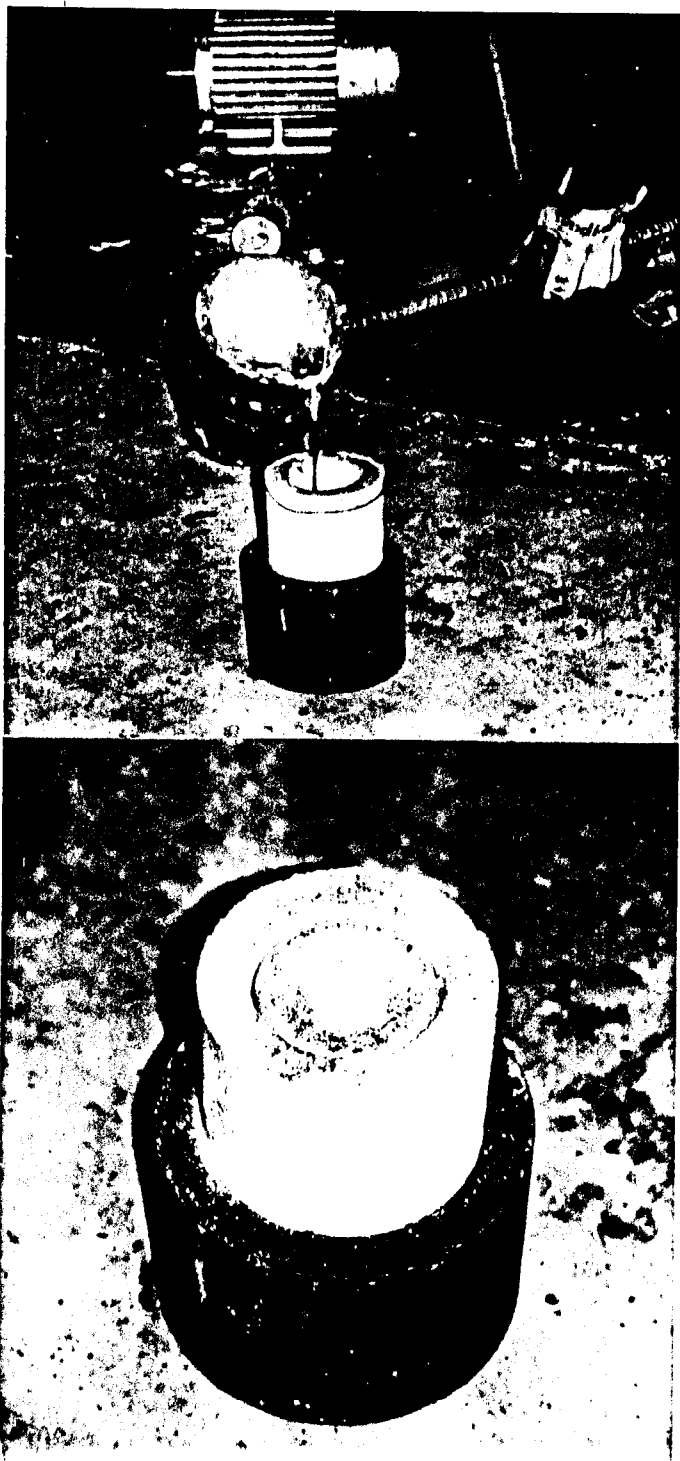


Fig. 12 Colado de probetas.

siguiendo el método Schneider, para lo cual se obtuvo una pastilla de diámetro 50 mm. y altura 20 mm., a 10 mm., de la base de la parte superior del bloque Schneider colado. Del mismo bloque, pero de la parte inferior, se preparó otra pastilla de 40 mm., de diámetro y 15 mm. de altura, determinándose la densidad de cada una de ellas. Las probetas de las 10 primeras y 10 últimas pruebas no fueron maquinadas.

Los resultados obtenidos del índice de gas están en la figura N^o 14. (Ver después de la figura N^o 13).

2.3.1.1. METODO SCHNEIDER:

El método Schneider puede cuantificar indirectamente la cantidad de gas presente en las aleaciones de aluminio. Se basa en el cociente de densidades expresado en porcentaje, obtenido de relacionar las densidades de la zona más densa (parte inferior) Vs. la zona menos densa (parte superior) de las pastillas obtenidas del bloque Schneider, expresado de la siguiente manera:

$$\%G = \frac{\text{densidad superior}}{\text{densidad inferior}} \times 100$$

El bloque Schneider al que se hace referencia se lo puede apreciar en la figura N° 13.

2.4. CONTROL DEL MATERIAL

El control del material se lo ha efectuado en las probetas obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo, usándose para el control de dureza y radiografía industrial las pastillas obtenidas de los bloques Schneider, mientras que para el ensayo de tracción se usó la norma ASTM E8.

2.4.1. Ensayo de tracción

En el ensayo de tracción se usó la máquina Versa Tester, modelo 30M, con una velocidad de ensayo de 3mm/min.

Las probetas ensayadas fueron confeccionadas según la norma ASTM E8 para aluminio fundido en molde -

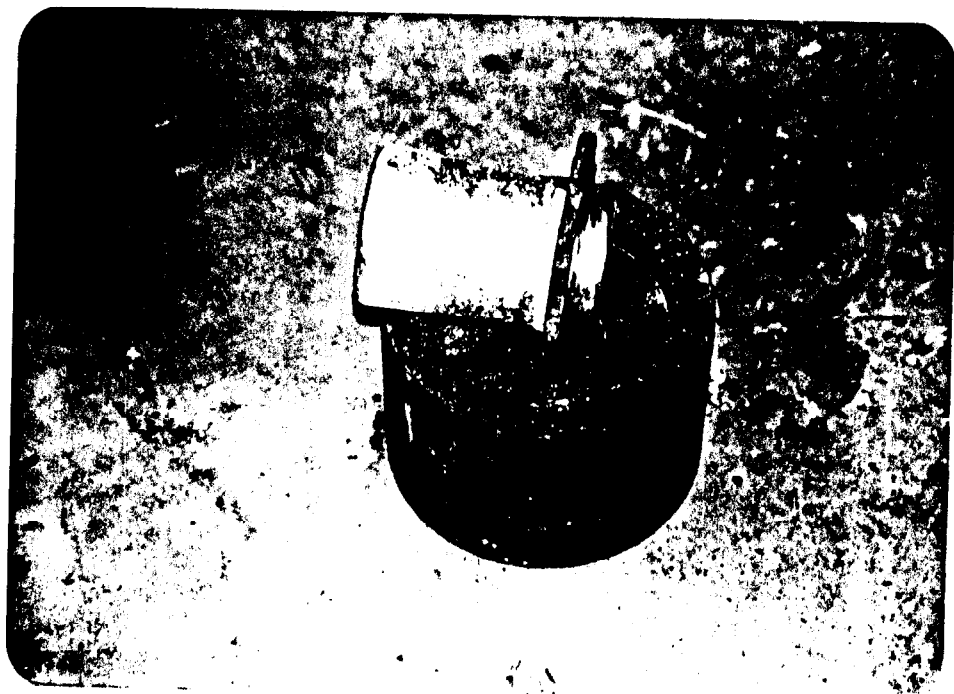
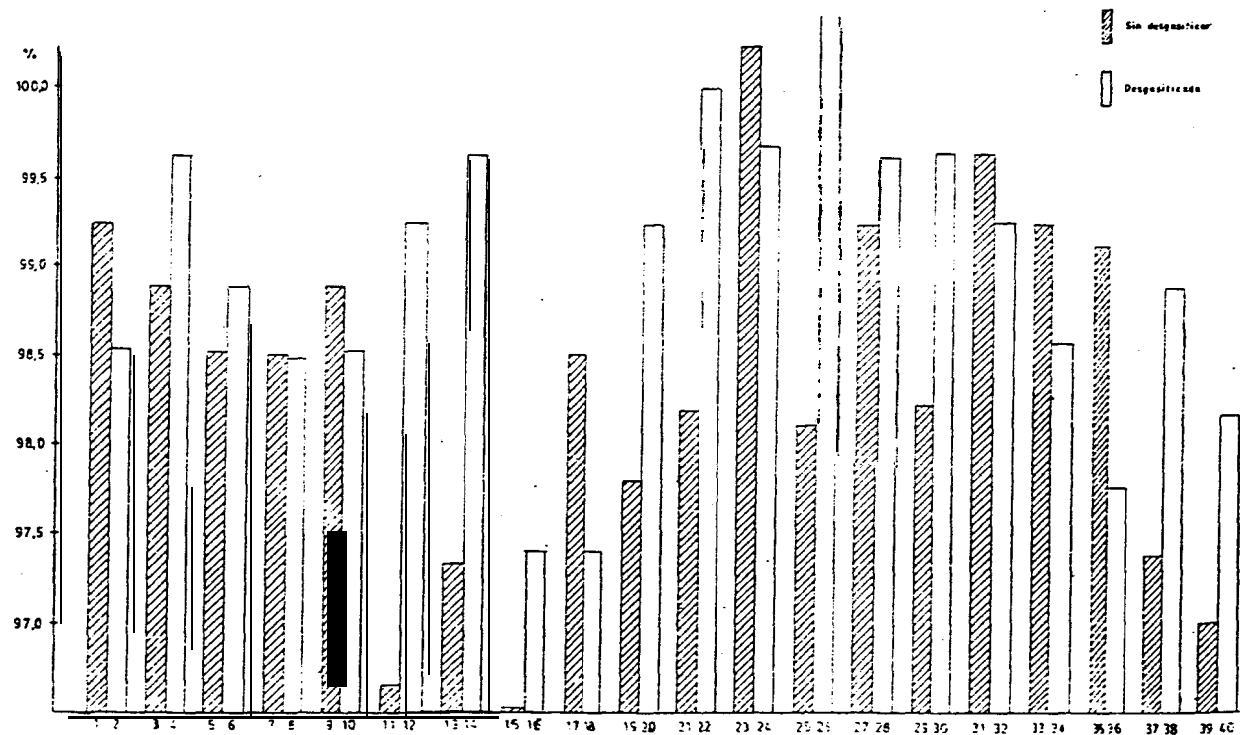


Fig. 13 Bloque Schneider desmoldeado.

FIG. 14.-Resultado de los índices de gas obtenidos con el método Schneider



metálico.

Es tos ensayos de tracción fueron efectuados para determinar las diferencias entre resistencia máxima y elongación entre las probetas desgasificadas y las sin desgasificar. Los resultados de esta prueba se encuentran tabulados en las tablas N^o V.

2.4.2. Ensayo de dureza

Los ensayos de dureza permiten valorar la cohesión del material ensayado; en el presente caso, valorará la dureza de las probetas Schneider con un durómetro marca AMATEK, modelo L, con una carga de 500 Kg., y una punta de acero de 10 mm. de diámetro. Los resultados de esta prueba se encuentran en la tabla VI.

2.4.3. Ensayo de radiografía industrial

La radiografía industrial es un método no destructivo de inspección que permite producir productos más seguros. En este caso, se usó una fuente de rayos X marca SEIFER, modelo ERESO

TABLA V
 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION
 CORRESPONDIENTES A LAS PRUEBAS 11 A 30

N	FUERZA Kg	AREA mm ²	ESFUERZO Kg/mm ²	ELONGACION %
11	2136.00	123.89	17.24	1.08
12	2136.00	123.11	17.35	1.04
13	2235.00	122.75	18.20	F.M.
14	1977.30	122.14	16.18	1.02
15	2327.27	131.71	17.66	2.00
16	2154.54	127.67	16.87	3.60
17	2272.72	135.13	16.81	1.30
18	1804.54	122.32	14.75	0.30
19	2545.45	122.71	20.74	2.32
20	2500.00	122.71	20.37	1.64
21	2068.18	125.28	16.50	4.44
22	1854.54	124.95	14.84	3.02
23	2445.45	121.93	20.05	F.M.
24	1795.45	121.76	14.74	2.44
25	1777.27	115.75	14.92	3.16
26	1477.27	125.08	11.81	3.60
27	2818.18	121.54	23.18	3.80
28	1386.36	127.70		
29	2500.00	124.29	20.11	1.80
30	2236.36	122.71	18.22	1.40

TABLA VI
RESULTADOS DE DUREZA

N	DUREZA HB	N	DUREZA HB	N	DUREZA HB	N	DUREZA HB
4	32.8	11	70.5	21	62.5	31	50.3
2	30.5	12	69.1	22	50.3	32	40.2
3	31.2	13	74.1	23	62.5	33	50.3
4	31.2	14	74.1	24	50.3	34	40.2
4	34.4	15	85.4	25	60.5	35	51.8
5	31.2	16	74.1	26	50.3	36	42.4
7	32.8	17	69.1	27	109.0	37	44.3
8	32.8	18	1-4.1	28	85.7	38	40.2
9	35.3	19	51.8	29	85.7	39	48.9
10	32.8	20	50.3	30	85.0	40	40.2

ES2, con película KODAK M.

Los parámetros usados en el ensayo fueron:

DFP 700 mm.

KV 110

mAm 10.5

C A P I T U L O I I I

DISCUSION DE RESULTADOS

Los procesos de fusión del aluminio y sus aleaciones bajo condiciones adversas de extrema temperatura y tiempo de permanencia en el crisol, generan en el material una gran afinidad con los gases de la atmósfera del horno, especialmente el hidrógeno, el mismo que disuelto en la masa líquida aparece en las piezas fundidas en forma de poros que perjudican las características mecánicas.

En este trabajo se ensaya el insuflado de nitrógeno seco en el metal líquido a fin de alcanzar eliminar el hidrógeno disuelto, proceso a través del cual se pretende eliminar las anomalías más comunes observadas en las piezas de producción nacional.

El uso de desgasificantes sólidos basados en hexacloroetano - no han demostrado ser los más efectivos, tal es así como

se reporta la experiencia de los fundidores.

Esta es una de las razones por lo que se sigue investigando - otras alternativas, siendo la que se propone una técnica no muy bien conocida pero que promete buenas expectativas.

La presente discusión propone confrontar los resultados experimentales con la hipótesis establecida sobre los efectos que debe provocar el nitrógeno sobre la eliminación de hidrógeno.

En primer lugar se pasará a realizar comentarios sobre la - eficiencia de los equipos usados y la calificación del procedimiento experimental propuesto a través del ensayo - Schneider, radiografía industrial y metalografía.

En relación a la construcción de la lanza para insuflar - nitrógeno en el aluminio líquido, se puede decir que fue uno de los puntos claves para la realización de este trabajo, usándose en primera instancia una lanza de acero de 12.5 mm., de diámetro con un orificio de salida de 3 mm., de diámetro como el recomendado a la referencia. Ver figura N^o 15.a., pero al entrar la lanza en funcionamiento se produjo en el metal un borboteo demasiado emergente, acarreado derramamiento de metal e imposibilitando el incremento de

caudal de gas y consecuentemente el tiempo de gaseado para un volumen determinado de nitrógeno era mayor. En vista de esto, se modificó esta lanza acoplándole a la salida un macho de arena de sílice de **19.7** mm., de diámetro y 20 mm., de longitud, figura 15.b., la misma que induce la formación de gran cantidad de pequeñas burbujas en el fondo del crisol, haciendo borbotear suavemente el baño y permitiendo así una mayor cantidad de insuflación.

Con el equipo listo se realizó algunas pruebas para la determinación de los parámetros tales como presión y caudal - existiendo ciertos inconvenientes debidos a la reducida - cantidad de metal de trabajo por lo que se procedió a realizar control solamente del caudal necesario a una presión relativamente baja, de tal manera que el flujo de gas lo restringía el borboteo del metal, ya que al ser muy enérgico produce derramamiento del metal mientras que si es muy suave alarga el proceso, por tal razón se seleccionó un caudal de **5** L/min., que resulto aceptable para tratar 1.5 Kg., de metal, que fue la cantidad de metal - de trabajo.

A pesar de existir algunos métodos para la determinación de la cantidad de gas disuelto en las aleaciones de aluminio se usó el método Schneider, que sin ser completamente cuantitati

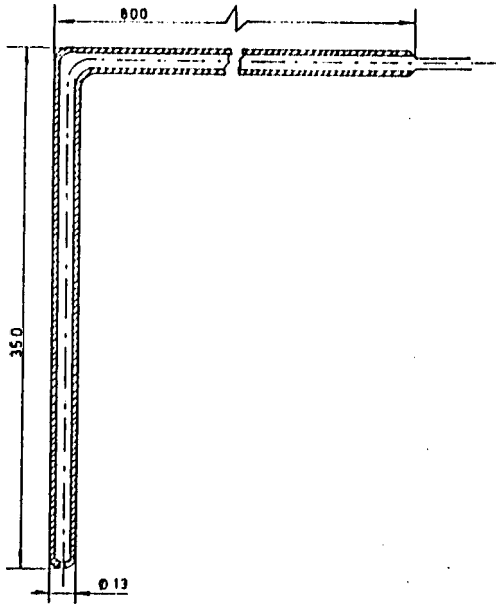


Fig15 Lanza de acero (a)

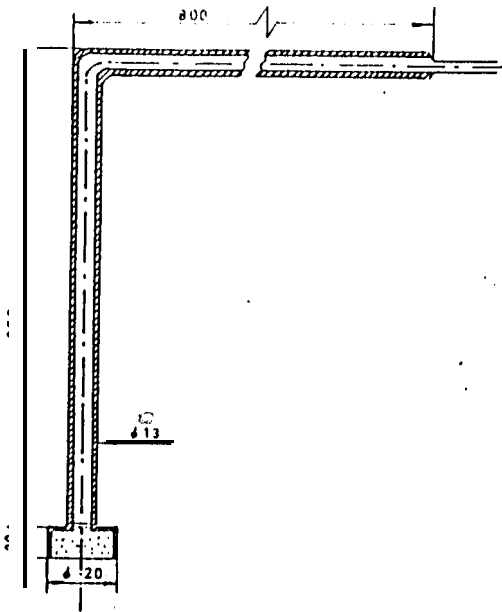


Fig15. Lanza moditicoda (b)

vo reflejaría el comportamiento del contenido o de la cantidad de gas dentro del metal según las condiciones de desgasificación.

No obstante las pruebas realizadas no fue posible efectuar el desarrollo del método para afinar la técnica por imitaciones del equipo, del tiempo de trabajo y problemas surgidos con la calificación del proceso; puesto que el escogido no cumple a cabalidad con los requerimientos de evaluación, pudiendo citarse para afirmar esto que los índices de gas obtenidos por el método Schneider resultan casi todos dentro, de un rango muy cercano al 100 %, mientras que la teoría afirma que cuanto mayor sea el índice de gas obtenido menor será el grado de disolución de gas en la probeta estudiada, pero según los datos que se presentan en la tabla IV, resulta que en algunos casos los índices de gas de las probetas no tratadas con nitrógeno resultan mayores que las tratadas como en los casos 1-2, 7-8, 9-10, 17-18, 23-24, 31-32, 33-34, 35-36. Pero si se tiene en cuenta que el nitrógeno es prácticamente insoluble en aluminio líquido y que el método persigue disminuir la cantidad de gas presente y con ello mejorar las propiedades del material, en vista de esto, se trató entonces de comprobar si los valores de índice de gas reflejan, verazmente el grado de disolución de gas existente en las probetas median

te ensayos de radiografía industrial, y e que si nos re
ferimos a la manera como está definido el índice de gas,
es decir, la relación entre la parte menos densa Vs. la más -
densa de la probeta Schneider resulta obvio que si por -
cualquier motivo de solidificación se produce una falla -
en la parte más densa el resultado de esta relación se
rá errbneo.

En las radiografías de las pruebas 23-24 y 35-36, se puede -
observar que la cantidad y tamaño de los poros es menor
en las probetas desgasificadas, mientras que el índice de gas
dá valores para estas pruebas de 99.6 y 102.59; 97.78 y
98.85, respectivamente, surgiendo entonces una gran contra-
dicción. Lo que si es claro es la tendencia del material
desgasificado a un aumento de su densidad con relación al
no tratado tal como se desprende del análisis de los re-
sultados de densidades, existiendo algunos casos de desfase
por motivos no claramente precisados, lo cual se puede obser-
var en las figuras N° 16 y 18.

En la figura N° 16, en que se presentan las densidades de los
ensayos del 1 al 10, no existe una gran diferencia de va
riación de densidades entre las probetas con y sin desga-
sificación, lo cual contrasta con lo que se presenta en la fi
gura N° 17 y la figura N° 18, en las que existen variaia

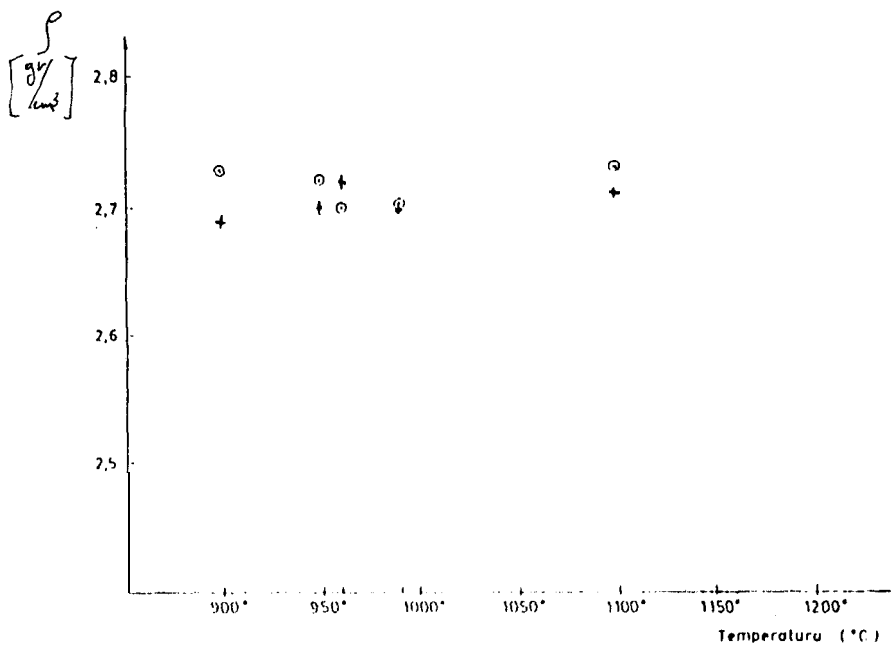
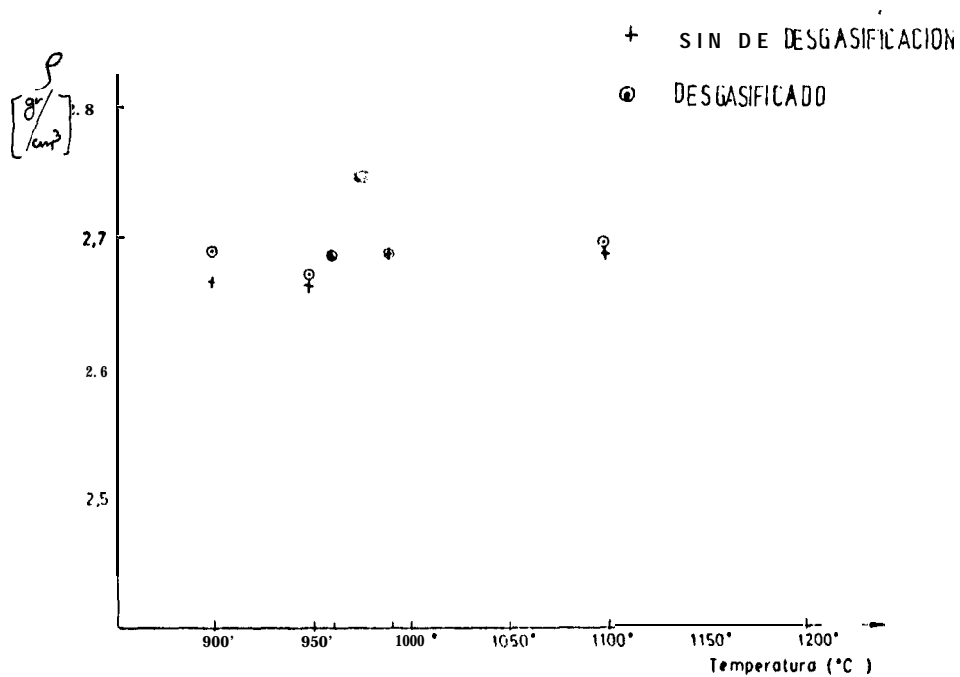


Fig. 16. Variación de las densidades en las probetas Schneider con respect o a la temperatura correspondiente a los ensayos I a 10

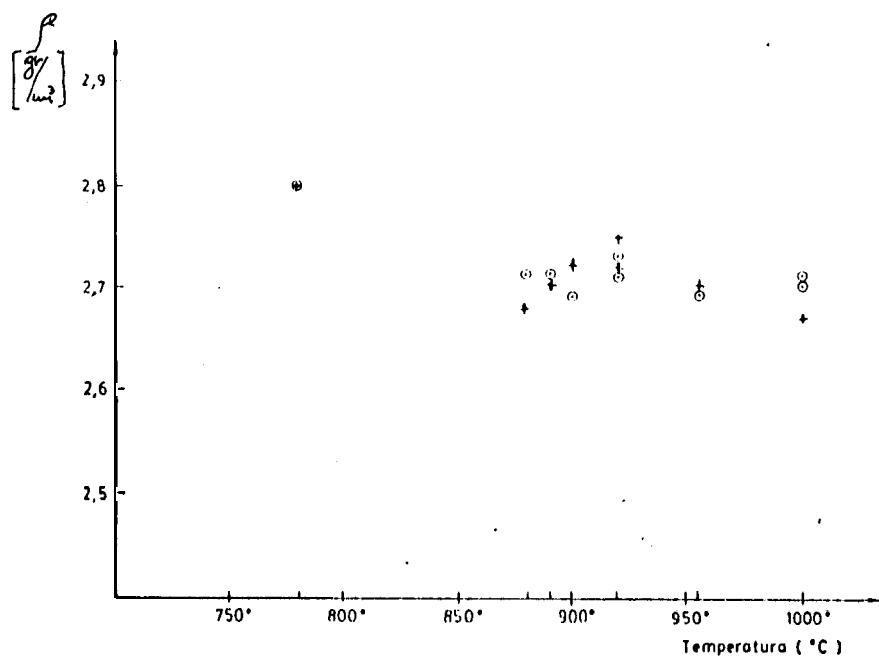
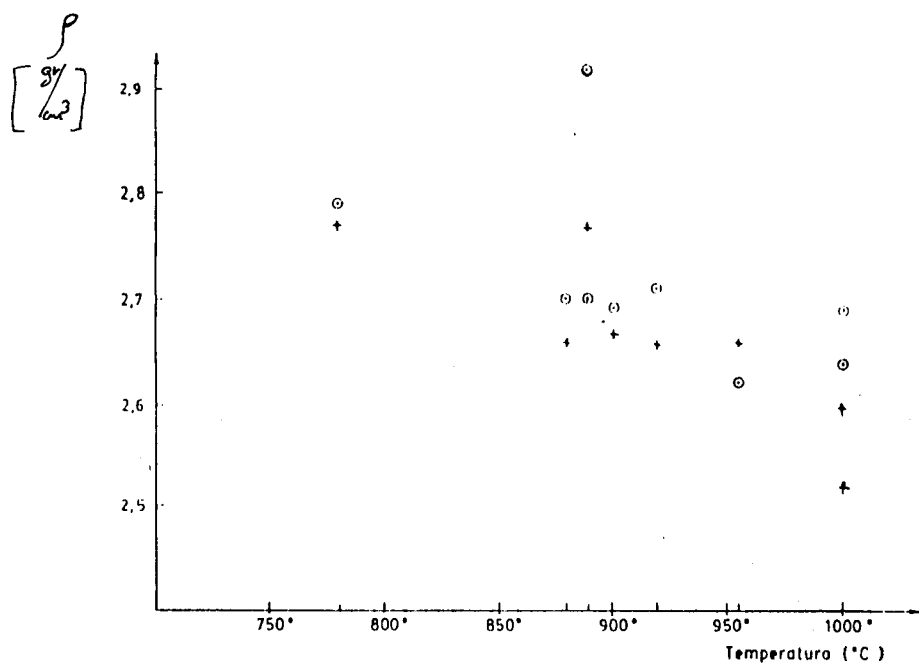


Fig 17. Variación de las densidades en las probetas Schneider con respecto a la temperatura correspondiente a los ensayos II a 30

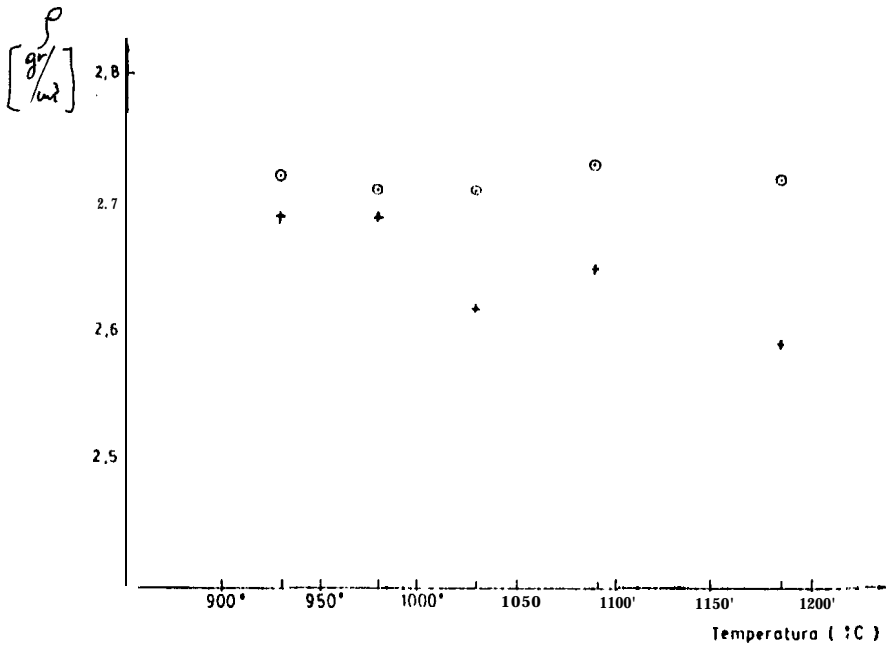
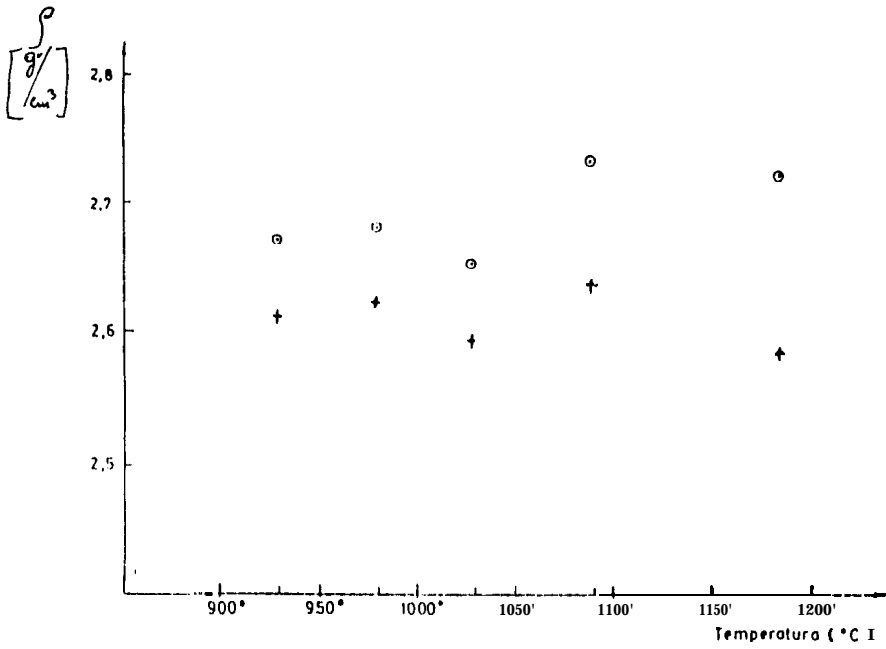


Fig 18, Variación de las densidades en las probetas Schneider con respecto a la temperatura correspondiente a los ensayos 31 a 40

ciones bastantes significativas. Pero un aumento de densidad entre volúmenes de control similares, sólo puede darse si se incrementa la relación masa/volumen, es decir, si se produce un aumento en la densidad de la probeta o por disoluciones metálicas más densas que el material en cuestión.

En la figura N° 17, correspondiente a los ensayos 11 al 30, la tendencia es hacia el incremento de la densidad, pero con incrementos muy dispersos en cuanto a magnitud, es decir, sin una orientación definida.

En la figura N° 18, correspondiente a los ensayos 31 al 40 es más apreciable el incremento de la densidad, 10 que refleja una variación en la disolución de gases en el metal tratado con nitrógeno.

Cabe resaltar el hecho de que en las pruebas 31 y 33, se pesen tan densidades de aproximadamente 2.73 gr/cm^3 , lo que contrasta con las pruebas restantes las mismas que tienen densidades inferiores a 2.7 gr/cm^3 , lo que hace pensar en la disolución de elementos más pesados que el aluminio, como el hierro de la lanza.

Al analizar al microscopio las probetas Schneider, se observó que las 10 primeras pruebas, presentan muy pocas poro

sidades y que además se encuentran casi libres de óxidos, pero en las demás probetas, a más del : incremento de porosidades se encontró una mayor cantidad de óxidos, 10 - que induce a pensar en una relación entre la composición química de la aleación de aluminio y la solubilidad de gas. Además se nota una tendencia a la formación de óxidos relacionada también con la composición química del material. Pero el incremento de óxidos en las probetas desgasificadas en relación con las no desgasificadas, deja entrever un efecto colateral del proceso sobre las propiedades del material tratado.

Por haberse destinado las 10 primeras pruebas a poner a punto el proceso, se creyó conveniente no realizar ensayos de tracción, ya que los mismos no reflejarían una real conducta de las propiedades del material como consecuencia del método empleado, debido a la variación de 10 s parámetros empleados.

Los resultados de los ensayos de tracción que se presentan en la tabla V y que corresponden a las pruebas 11 al 30, demuestran la existencia de un aumento en la resistencia tensil en las probetas que corresponden al metal desgasificado. Sin embargo, tal como en el caso de las densidades, no es posible relacionar este aumento de resistencia

con un aumento de la calidad en forma cuantitativa no sólo por falta de precisión en la determinación del gas disuelto, sino también por la variación de las condiciones de las tomas de muestras, razón por lo cual tampoco se realizaron ensayos de tracción en las pruebas restantes.

Los resultados de dureza presentados en la tabla V I, reflejan la efectividad del proceso de desgasificación, puesto que las probetas tratadas presentan una mayor dureza propias de material más compacto, es decir, menos poroso.

Para calificar el ensayo radiográfico se estableció por meta lográfica que en estas radiografías solo son visibles los poros > 0.2 mm., a partir de lo cual se estableció - tres niveles de calidad a saber:

PRIMER NIVEL	poros	\leq	0.2 mm.
SEGUNDO NIVEL	poros	\leq	0.5 mm.
TERCER NIVEL	poros	$>$	0.5 mm.

Del análisis de la parte superior de las probetas Schneider se demuestra que en la mayoría de las pruebas se ha logrado mejorar la calidad del material.

En las pruebas 1 al 10, se pas.6 del nivel 2 al 1 en dos casos, se mantuvo en dos casos y se desechó una prueba.

En las pruebas 11 al 30, se mejoró de nivel, pasando del 3 al 2 en cuatro casos; del 2 al 1 en cinco casos y en un caso se mantuvo constante.

En las diez últimas pruebas en las que se trabajó con las condiciones más adversas, se logró mejorar desde el nivel 3 al 2 en cuatro casos y del 3 al 1 en una oportunidad. Estos resultados se encuentran en la tabla VI I.

TABLA VII

RESULTADOS DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

N	NIVEL			N	NIVEL			N	NIVEL			N	NIVEL		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1		■		11	■			21		■		31	■		
2		■		12		■		22			■	32			■
3	■			13	■			23		■		33		■	
4		■		14		■		24			■	34			■
5		■		15		■		25		■		35		■	
6	■			16			■	26			■	36			■
7		■		17	■			27	■			37		■	
8		■		18		■		28		■		38			■
9	■			19		■		29	■			39		■	
10		■		20		■		30		■		40			■

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de la investigación se puede concluir que:

1. Mientras mayor sea el grado de recalentamiento y el tiempo de permanencia del metal en el crisol, mayor será la cantidad de gas disuelto.
2. Como producto de la agitación propia del proceso se puede producir la inclusión de óxidos en el metal.
3. El proceso de desgasificación empleado, si disminuye la can tidad de gas (HIDROGENO) disuelto en el máterial.
4. Debido a la disminución de porosidades las propiedades mecáni cas tales como resistencia tensil y dureza, se incremen tan como resultado de un aumento de la sección trans- versal y en la densidad, respectivamente, de las probetas en sayadas.

5. Debido a la baja inversión inicial y los positivos resultados obtenidos, se podrá generalizar su uso.

RECOMENDACIONES

1. Estudio de la influencia de los parámetros de desgasificación sobre las propiedades de las aleaciones de aluminio, tratando de llegar a un compromiso de eficiencia y economía.
2. Debido a que el cloro es uno de los mejores agentes desgasificantes se recomienda el uso de mezclas de gases (N-CL) o gases que desprenden cloro (Freón 12) en el estudio del proceso de desgasificación.
3. Usar fundentes, desoxidantes o mezclas de ellos para mejorar el proceso de fusión.
4. Estudio sobre diseño de equipos para control del grado de disolución gases en los alúminios fundidos.
5. Método de fusión de aleaciones de aluminio para minimizar el grado de absorción de gases.
6. Comparación de sistemas de generación de calor (fuel oil -

gas) y su influencia en el grado de absorción de gases.

7. Diseño de equipo para control automático de temperatura en la fusión de las aleaciones de aluminio.

•

BIBLIOGRAFIA

1. G. Coello, "Ensayos de Arenas y Arcillas para Fundición" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983).
2. D. Vizúete, "Efecto de las Mezclas de Arenas de Moldeo en las Fundiciones" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1981).
3. Enciclopedia del Aluminio, Volumen 2 (Bilbao, España: Ediciones Urmo S.A., 1.968, p.p. 98 - 101).
4. M. Tapia, "Arenas Nacionales para la Elaboración de Corazones por el Proceso de Caja Caliente para la Industria de la Fundición" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1979).
5. R. Calero, "Implementación del Proceso de Silicato- CO_2 en la Producción Nacional de Bombas Centrífugas", (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982).
6. R. Dear y R. Fielke, "A Signalling device to Improve Degassing of Aluminium Alloys", Foundry Trade Journal, Agosto 30, 1973, p. p. 261 - 263.

7. Kaiser Aluminium y Chemical Sales. Ing. "La Fundición del Aluminio Kaiser" California, E.U.A., 1956.
8. Asociación Técnica y de Investigación de Fundición "Hornos de Fusión y Mantenimiento para Aleaciones de Aluminio", Documento ATEF 11/13, Enero 1974.
9. American Society for Metals" Metal Handbook, Volumen 5"(9na. - Edición, 1978) , p.p. 395 - 398.
10. A. Del Viller y M. de Andrés, "Tecnología y Métodos de Trabajo", Revista de Metalurgia (CENIM), Volumen 3, N.2, 1967, p.p. 158 - 165.
11. F. Tracnkner"Practical Techniques for Casting Aluminium" Model-Casting, Diciembre, 1981, p.p. 44-46.