

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

14  
ZFS

FACULTAD DE QUÍMICA

APLICACION DE FUNDENTES EN LA FUSION DE  
ALUMINIO Y SUS ALEACIONES



EXÁMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

**TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A  
ULISES ALEJANDRO LARA RAMOS



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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:**

<b>PRESIDENTE</b>	PROF.: EUSEBIO CÁNDIDO ATLATENCO TLAPANCO
<b>VOCAL</b>	PROF.: JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA HINOJOSA
<b>SECRETARIO</b>	PROF.: CARLOS GONZÁLEZ RIVERA
<b>1er. SUPLENTE</b>	PROF.: GERARDO ARAMBURO PÉREZ
<b>2do. SUPLENTE</b>	PROF.: SERGIO GARCÍA GALÁN

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:** EDIFICIO D, DEPARTAMENTO DE  
INGENIERIA METALÚRGICA,  
FACULTAD DE QUÍMICA, U.N.A.M.

**ASESOR DEL TEMA:**

  
I.Q.M. EUSEBIO CÁNDIDO ATLATENCO TLAPANCO

**SUSTENTANTE:**

  
ULISES ALEJANDRO LARA RAMOS

A MI MADRE:

Aunque poco es, para lo que mereces, te dedico este trabajo como muestra de amor y gratitud por el hecho de haberme dado la vida. Agradezco infinitamente a Dios por la felicidad que me brinda tu presencia a mi lado. Tu eres el nombre de Dios puesto en mi corazón.

A MI PADRE:

Aunque el silencio a sido motivo de comunicación... Un día 18 de Diciembre nació la ilusión. Por causas ajenas no fué posible concretar aquella ilusión en aquel tiempo aspero. Pero ahora lo ha logrado, es ya un Ingeniero.

A MIS HERMANOS:

Alejandrina, Diana, Carolina, Patricia, Aideé, Marco y Froylan. Mi agradecimiento por el apoyo incondicional y estar siempre conmigo. Mil gracias.

A MI ESPOSA:

Rosy, te dedico este trabajo como símbolo de mi amor y agradecimiento por estar cerca de mi en todo momento.

A MIS HIJAS:

Marylú y Erandi, porque son dos almas inocentes que vinieron a dar amor y que por ellas puedo llegar a tocar las estrellas...

A MI TIO:

Gregorio, se que en algún lugar me estarás viendo y además puedo sentir tu apoyo incondicional, como cuando en el transcurso de mi carrera y mi vida. Dios te tenga en gloria...

A MI ABUELITO:

Francisco, tu que creiste siempre en esta familia y en tus hijos, recibe donde quiera que estés, éste homenaje. Descansa en paz...

A MIS TIOS:

Enrique, Rosa, Luis, Magdalena, Francisco, José, Manuel y Eduardo.

A MIS PRIMOS:

Noe, Erika, Karina, Miriam, Gina, Mary, Bety, Luis, Aarón, Cesar, José, Liz, Francisco, Isela, Martha, Adolfo, Gerardo, Carlos y Eddie.

A MIS SOBRINOS:

Claudia, Enrique, Alejandro, Erick, Sharon, Michael, Abel, Alan, Moises, Maribel e Itzel. Por su confianza y cariño; como símbolo de que siempre podrán contar conmigo.

A MIS AMIGOS:

Simón y Chuy, Enrique y Mary, Julio y Lety, Alejandro y Gloria y demás amigos. Por su gran ayuda desde el inicio de la carrera.

A TODOS LOS MAESTROS:

Que tomaron parte en el transcurso de mi vida y en general a todos los que creyeron en mi,

mil gracias...

## INDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMEN.	1
2. INTRODUCCIÓN.	2
3. FUNDAMENTOS.	4
4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ALUMINIO FUNDIDO.	5
5. CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.	7
5.1. ELEMENTOS DE ALEACIÓN.	9
6. PROCESOS DE FUNDICIÓN.	12
7. AUXILIARES PARA EL CONTROL DE LA FUSIÓN DEL ALUMINIO.	14
7.1 FUNDENTES.	18
7.1.1 Definición.	
7.1.2 Función.	
7.1.3 Clasificación.	
7.2 FILTRADO DEL ALUMINIO.	40
7.2.1 Función.	
7.2.2 Principios básicos.	
8. DEFECTOS EN LAS PIEZAS DE FUNDICIÓN POR PRÁCTICA DE FUSIÓN INADECUADA.	44

	<u>Página</u>
9. ASPECTO ECONÓMICO DE LA BUENA PRÁCTICA EN EL USO DE FUNDENTES.	47
10. CONCLUSIÓN.	51
11. ANEXO I.	52
12. BIBLIOGRAFÍA.	58

## 1. RESUMEN

En la actualidad se ha observado que la productividad de una compañía dedicada a la fabricación de piezas de fundición de aluminio y productos fabricados a partir de piezas de fundición depende, entre otros aspectos, del cuidado que se tenga a través de la fusión y tratamiento que se le dé al baño metálico.

El aluminio como se sabe crea una capa de óxido que, naturalmente durante la fusión, tiende a incrementarse. Otros elementos presentes tales como los mismos elementos aleantes pueden crear otro tipo de óxidos e incluso intermetálicos, que al no disolverse adecuadamente ya sea química o mecánicamente, provocarán inclusiones en las piezas que redundan en la calidad. Todo esto se puede evitar mediante un factor externo.

El factor externo, comunmente llamado Fundente, actúa química o físicamente para aumentar la calidad de las piezas.

Del análisis anterior se puede evaluar la conveniencia en la utilización de fundentes adecuados para cada aleación o grupo de aleaciones, dependiendo del tipo de tratamiento que se le quiera dar al baño metálico.

En este trabajo se analiza el porqué de la utilización de un fundente en la fusión y tratamiento del aluminio y sus aleaciones, así como las ventajas que presenta el uso adecuado de los mismos reflejadas en la calidad y costo de las piezas obtenidas.



## 2. INTRODUCCIÓN

El aluminio es el más versátil de todos los metales comunes y puede ser trabajado con gran facilidad en frío o en caliente; mediante diferentes procesos para darle una gran variedad de formas.

Así mismo, el aluminio y sus aleaciones se vacían fácilmente en piezas, mediante procesos de fundición, como el de arena, cáscara, centrifugación, cera perdida, molde permanente por gravedad o presión.

Admite también una amplia variedad de acabados, con objeto de mejorar la apariencia, hacer más funcional la superficie o darle mayor resistencia a la corrosión.

Dentro de la industria de la fundición, están conjuntados diferentes pasos de tratamiento al aluminio para la obtención de una pieza o producto de fundición, como pueden ser entre otros, la preparación de una carga determinada, la fundición, el rebabado, maquinado, tratamiento de presentación (pintura, etc.), acabado final y venta del producto.

Como se podrá observar en cada paso se involucran gastos de energía, personal, materias primas y maquinaria; otra observación más es de que la mayoría de los pasos a seguir en la elaboración del producto son básicamente dependientes de la sección de fundición, ya que por definición, se obtendrá el producto terminado o semiterminado y deberá cumplir con especificaciones determinadas.

De no relizar una buena práctica de fusión y tratamiento del metal, se obtendrán bajos rendimientos debidos a la recirculación tanto de la sección de fundición, como de las demás secciones y

además la adquisición de mayor cantidad de materias primas, mismas que podrían ser menores si se realizan las buenas prácticas de fusión.

El objetivo principal de la buena práctica de fusión y tratamiento del aluminio y sus aleaciones con fundentes como auxiliares, es la obtención de piezas sanas y de alta calidad y como consecuencia, el ahorro de dinero, tiempo y recursos.

### 3. FUNDAMENTOS

Una masa metálica fundida está definida en principio por su volumen y su composición química. El comportamiento de éste líquido estará condicionado por una serie de variables tales como: la temperatura y sus variaciones, la agitación del baño, la forma y naturaleza del recipiente que lo contiene, la presión aplicada a la superficie, movimientos, etc.<sup>(14)</sup>

Es difícil el manejo de las anteriores variables a nivel industrial para llegar con seguridad a los objetivos propuestos; sin embargo se pueden aprovechar las propiedades químicas de cierto grupo de elementos, los cuales ayudarán a la obtención de buenos resultados. Para ello habrá de cuidarse, entre otras cosas, la cantidad, forma y naturaleza de la adición, variables durante la misma, duración del tratamiento y estado físico de la adición.

#### 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ALUMINIO FUNDIDO

Todos los principios y prácticas de fundición son aplicables a la fundición de todos los metales y sus aleaciones, sin embargo, el fundidor debe conocer y estar familiarizado con las principales características físicas y químicas y como son afectadas éstas por los elementos de aleación en la fundición de aluminio.

Las principales características físicas y químicas que se toman en cuenta debido a su efecto en las prácticas de fundición empleadas en el aluminio son:

1. La facilidad con la cual el aluminio fundido se combina con el oxígeno, la humedad y con otros materiales oxidantes para formar óxidos.
2. La rapidez y facilidad con la cual el aluminio fundido absorbe hidrógeno, el cual es tomado de la humedad, de los productos de combustión, de la atmósfera y de materiales de carga húmedos, tiende a aparecer durante la solidificación en forma de porosidad.
3. La contracción volumétrica que es de 5 a 7%, la cual resulta cuando el metal solidifica y se debe tener en consideración al diseñar la alimentación de las piezas.
4. La baja densidad de las aleaciones del aluminio dá como resultado una baja presión hidrostática en el molde, ésto combinado con la contracción durante la solidificación requiere de un diseño de alimentación para evitar rechupes.

5. La película de óxido que se forma sobre la superficie del metal fundido, sirve de protección para evitar la formación de más óxidos y la absorción de hidrógeno y no debe romperse. En otras palabras se debe evitar la turbulencia y agitación del material fundido.
6. La tendencia a agrietarse durante la solidificación (grietas en caliente) es característica de algunas aleaciones.
7. Todos los metales comunes, acero, hierro, etc., son disueltos por el aluminio fundido, por lo tanto deben ser protegidas todas las herramientas y cucharas con pintura refractaria.

## 5. CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Las aleaciones de aluminio se pueden clasificar de diferentes formas, la más común es la clasificación de acuerdo al número de elementos aleantes, la cual las divide en dos grandes grupos:

- A. Aleaciones binarias
- B. Aleaciones compuestas o múltiples

### **ALEACIONES BINARIAS:**

Estas aleaciones están formadas por aluminio y sólo un elemento controlado, ejemplo de ellas son:

Aluminio-Silicio,  
Aluminio-Cobre y  
Aluminio-Manganeso

### **ALEACIONES COMPUESTAS O MÚLTIPLES:**

Estas están constituidas por aluminio y dos o más elementos controlados, como ejemplos podemos citar las siguientes:

Aluminio-Cobre-Silicio,  
Aluminio-Silicio-Magnesio,  
Aluminio-Cobre-Níquel-Magnesio y  
Aluminio-Zinc-Magnesio.

Estos son los elementos básicos que componen la gran mayoría de las aleaciones de aluminio<sup>(12)</sup>; sus diferentes porcentajes y sus combinaciones dan una extensa gama de propiedades y características para las diferentes finalidades a que se destinen las piezas producidas, así como a los procesos en que se fabricaron.

En el anexo No. 1 se presentan las diferentes aleaciones específicas para fundición, las cuales se enlistan de acuerdo al tipo de molde y/o proceso por el cual se va a vaciar el metal fundido.<sup>(2)</sup>

## 5.1. ELEMENTOS DE ALEACIÓN

Silicio (Si): Imparte fluidez al aluminio fundido, reduce contracciones externas y grietas en la pieza terminada, reduce el coeficiente de expansión y ayuda a la soldabilidad. Al modificarse la estructura del mismo en el aluminio, aumenta la resistencia a la abrasión. Combinado con el magnesio, imparte capacidad para el tratamiento térmico. El rango de aleación es de 2 a 24 %.

Cobre (Cu): Incrementa la dureza de la aleación, ya sea con o sin tratamiento térmico, reduce contracciones internas e imparte maquinabilidad, tiende a reducir la fluidez. El rango de aleación es de 4 a 10 %.

Magnesio (Mg): Hace a las aleaciones de aluminio susceptibles al tratamiento térmico, su presencia provoca que se forme mucha escoria y óxidos, dificultando el colado del metal. Forma un compuesto ( $Mg_2Si$ ), que mejora las propiedades del aluminio, aumenta la resistencia a la corrosión y ayuda a la maquinabilidad. El rango de aleación es de 4 a 10 %.

Titanio (Ti): Se usa como refinador de grano del aluminio y su rango de aleación es de 0.05 a 0.20 %.

Boro (B): Es un refinador de grano y es usado en combinación con el titanio. Se debe controlar su contenido en un máximo de 0.01% en la aleación.



Fierro (Fe): Es usado para reducir contracción ya que puede actuar como refinador de grano, es deseable en algunas aleaciones entre el 0.15 y el 1.0 %, ya que reduce la tendencia de éstas a soldarse en el molde, sobre todo en fundición a presión. El rango de aleación es de 0.05 a 1.5%.

Manganeso (Mn): Actúa como refinador de grano para reducir contracciones, cuando se adiciona en aleaciones que contienen cobre y silicio, imparte resistencia mecánica a elevadas temperaturas. En algunas aleaciones no se requiere o en su defecto, que sumado junto con cromo, titanio y vanadio, estén como máximo en 0.025%, y estando presente en aleación en 0.80% máximo.

Cromo (Cr): Es un refinador de grano, refuerza la resistencia a la corrosión, aumenta la resistencia mecánica en piezas sometidas a elevadas temperaturas. En algunas aleaciones no deberá estar presente o junto con el manganeso, titanio y vanadio deben sumar como máximo 0.025%, como aleante deberá estar presente en 0.50% máximo.

Zinc (Zn): Tiende a crear una muy alta contracción en las aleaciones de aluminio cuando se usa en elevados porcentajes. Combinado con el magnesio, produce una buena resistencia al impacto, puede ocasionar corrosión bajo tensión, y el rango de aleación es de 3 a 10 %.

Níquel (Ni): Imparte estabilidad dimensional y resistencia para piezas que trabajarán a elevadas temperaturas. En algunas aleaciones no debe haber de este elemento y, como aleante su rango es de 0.03 a 3.0%.

Berilio (Be): Se usa muy controlado, menor al 0.01%, para reducir la oxidación durante la fusión de aleaciones de aluminio que contengan arriba del 4% de Mg, así mismo ayuda a evitar en parte la pérdida del magnesio que tiende a quemarse durante la operación de fusión.

## 6. PROCESOS DE FUNDICIÓN

Para entender el papel del aluminio y sus aleaciones en la industria de la fundición, es importante enfatizar que este metal ligero puede ser procesado por cualquiera de los métodos y prácticas generalmente aceptadas por los fundidores. A continuación se mencionan los tipos de hornos más usuales y se enlistan los diferentes procesos de vaciado, indicando su versatilidad:

### HORNOS

1. Horno de Crisol.
2. Horno de Reverbero.
3. Horno de Inducción.

### PROCESOS

1. Fundición en arena en verde.
2. Fundición en molde permanente.
3. Fundición a presión.
4. Fundición en cáscara (o shell).
5. Fundición en yeso.
6. Fundición en centrifuga.
7. Investment casting. (fundición en revestimiento cerámico).

De estos métodos de fundición predominan desde el punto de vista de producción los tres primeros, debido a que cerca del 90% de piezas fundidas de aluminio están fabricándose empleando estos tres métodos. Aunque todos los procesos son empleados, la selección de cualquier método descansa principalmente sobre consideraciones económicas, cada método tiene sus ventajas y limitaciones metalúrgicas, las cuales también deben ser tomadas en cuenta. La diferencia metalúrgica más importante en los procesos está en la velocidad de solidificación del metal.

La solidificación del metal es comparativamente lenta en moldes de arena y cáscara (shell), un poco más en moldes de yeso y cerámica y, mucho más rápida en molde permanente y fundición a presión.

Los moldes permanentes usualmente son de hierro fundido, aunque hay tendencia a usar acero. Estos son llenados por gravedad como los de arena verde, los corazones pueden ser metálicos (Hierro o Acero) o cualquier otro proceso conocido como shell, aceite, CO<sub>2</sub>, etc..

Las piezas hechas en moldes permanentes tienen mejor acabado en las superficies y mayor aproximación de las dimensiones que las piezas hechas en arena.

Las piezas hechas en fundición a presión tienen más ventaja en este aspecto que los dos procesos mencionados en el párrafo anterior.

A continuación se dan las dimensiones aproximadas para efecto de moldeo que deberán tomarse en cuenta para obtener un mejor rendimiento del metal y una alta calidad en las piezas utilizando cualquiera de los tres procesos mencionados:

	ARENA	MOLDE PERMANENTE	FUNDICIÓN A PRESIÓN
MÍNIMO ESPESOR DE SECCIÓN	1/8	3/16	1/16
TOLERANCIA DIMENSIONAL	1/32 - 1/8	0.020 - 0.050	0.005 - 0.020
MATERIAL SOBRANTE PARA MAQUINADO	1/8 - 1/4	1/32 - 1/16	0.010 - 0.020

## 7. AUXILIARES PARA EL CONTROL DE LA FUSIÓN DEL ALUMINIO

De lo anteriormente expuesto resulta evidente el control que debe tenerse en el manejo en sí del aluminio durante todo el proceso de fusión y vaciado. Esto es, cuidar todos y cada uno de los pasos a seguir, puesto que en cada uno de ellos existen cambios metalúrgicos que de no controlarse con la ayuda de productos "auxiliares" se tendrán problemas graves de calidad y rendimiento.<sup>(3)</sup>

Los mayores problemas son debidos a la aparición de inclusiones y porosidad en los productos de fundición, por lo que se trata brevemente sobre este tema.

Cualquier partícula en suspensión dentro del baño metálico o en el producto ya solidificado se le denomina **inclusión**; puede tratarse de una fase intermetálica, un compuesto definido, un trozo de refractario, etc.

Las concentraciones típicas de inclusiones en el metal van desde 0.5 a 2 % en volumen; por otro lado los tamaños de partícula de las inclusiones van desde unos pocos micrones hasta varios milímetros (en casos extremos).

En la producción de piezas fundidas con alta calidad se requiere de contenidos de inclusiones con un máximo de 1 a 2 partes por millón.

El tamaño de partícula permitido en la mayoría de las piezas de fundición es de menos de 0.05 milímetros. En la producción de lámina de aluminio, el tamaño máximo es de 0.03 milímetros. Para el caso de fabricación de foil (hoja) se requerirá de un máximo en tamaño de partícula de 0.002 milímetros.

Es importante tener en cuenta el comportamiento de las inclusiones, las cuales tenderán a depositarse y a flotar de acuerdo con sus leyes. Lo fundamental de esta cuestión es que estas inclusiones tienden a nuclear o solidificar el metal, especialmente a determinados constituyentes que permanezcan en una precaria disolución formando pseudofases líquidas. Por ésto, alrededor de las inclusiones y en determinadas zonas, aparecen cristales de  $Al_3Fe$ ,  $Al_3Ni$ ,  $Al_7Cr$ ,  $Al_6Mn$ , etc. y, se trata generalmente de constituyentes con alto punto de fusión y de difícil disolución.

A las partículas en suspensión se les puede clasificar tomando en cuenta:<sup>(14)</sup>

<u>Densidad.</u>	Más ligeros que el aluminio líquido. Igual densidad que el aluminio líquido. Más pesados que el aluminio líquido.
<u>Carácter.</u>	Metálico. No metálico. Mixtas.
<u>Tamaño.</u>	Trozos grandes, observables fácilmente. Tamaño medio y normal de inclusiones. Microscópico y a veces no observables.
<u>Formación.</u>	Carácter mecánico. Carácter químico. Carácter mixto.
<u>Naturaleza.</u>	Compuesto definido por una composición. Compuesto indefinido. Mezclas de los dos tipos.

Características. Poroso y absorbente de gases.  
Duro y resistente.  
Activo químicamente y durante la solidificación.

Origen. Intrínseco del metal (endógenas).  
Intrínseco del metal (exógenas).  
Mezclas de las dos.  
Aportada por la carga o herramientas.  
Formada en el mantenimiento del metal líquido a ciertas temperaturas o durante el tratamiento del metal líquido.

Existen procedimientos recomendados para la eliminación de ciertos elementos e impurezas en las aleaciones fundidas, mediante la utilización de procesos físicos, químicos y su combinación, los cuales se mencionan a continuación:<sup>(14)</sup>

**Procedimientos Físicos:**

<u>Medio</u>	<u>Eliminación de:</u>
Burbujeo de gases	H <sub>2</sub> , óxidos e inclusiones.
Filtrado	Fe, Ti, Ni, Mn, Co, inclusiones y óxidos

**Procedimientos Químicos:**

<u>Medio</u>	<u>Eliminación de:</u>
Oxidación	Ca, Mg, Be, Zr.
Cloración	Ba, Na, Ca, Mg, V, Be, H <sub>2</sub>
Fluoración	Ca, Ba, Na, Mg.
Nitruración	Zr, Ti, V.
Alcalinización	Mg.
Ataque con AlF <sub>3</sub>	Mg.
Ataque con MnCl <sub>2</sub>	Na (fundamentalmente).
Ataque con Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	Ca (fundamentalmente), Mg.

**Procedimientos Físico-Químicos:**

<u>Medio</u>	<u>Eliminación de:</u>
Adición de Sales fundentes	Óxidos e inclusiones.
Burbujeo de gases	Óxidos e inclusiones.

Como existe interés en la eliminación de determinados elementos como impurezas metálicas, se mencionan a continuación los más importantes, con los métodos más comunes para su eliminación:<sup>(14)</sup>

Calcio: Eliminación a base de temperatura y tiempo, con ciertos fundentes como: 40% KCl + 40% NaCl + 20% AlF<sub>3</sub>, o bien 40% NaCl + 40% KCl + 20% Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, y con cloro (Cl<sub>2</sub>).

Sodio: Se elimina también con temperatura y tiempo, el MnCl<sub>2</sub>, el Mg y el Cl<sub>2</sub>, entre otros.

Magnesio: Si el contenido de magnesio en el metal es superior al deseado por los moldeadores, debe reducirse con productos clorados.

Hierro: Se elimina mediante un tratamiento energético, utilizando diversas sales de boro, también con Be, Co, Mn, etc., por decantado o filtrado.

Para la eliminación de las impurezas se mencionaron diferentes procedimientos utilizando auxiliares para la fundición, destacando la aplicación de fundentes y el filtro de espuma cerámica, por lo que a continuación se explica el funcionamiento de cada uno de ellos.



## 7.1 FUNDENTES

### 7.1.1 Definición.

Un fundente es un elemento o mezcla de compuestos químicos, que son auxiliares en el proceso de fusión y que pueden ser sólidos o gaseosos, para ayudar a la eliminación de impurezas alojadas en el seno del baño metálico.<sup>(14)</sup>

### 7.1.2 Función.

Es la de eliminar todos los óxidos, gas e impurezas que se hayan en el seno del baño del aluminio fundido.

Debido a esta acción mejora la colabilidad y las propiedades mecánicas son favorecidas. En su mayoría los fundentes ejercen una acción química desoxidante y otra acción mecánica sobre los óxidos, lo cual facilita la desescorificación.

La acción de los fundentes resulta más eficaz si se introducen en el baño en cantidades parciales en vez de adicionar toda la cantidad requerida en una sola vez, pues corre el peligro de que se aglutine y resulte menos efectivo. La cantidad de fundente a utilizar es de 0.3 al 3.0% del peso del metal que se va a tratar y es preciso que estén totalmente secos.

### 7.1.3 Clasificación.

Con lo que respecta a su clasificación podemos hacer dos grandes grupos de acuerdo al modo de empleo; ésto es, que unos se arrojan sobre la superficie del baño metálico y otros se inyectan en el seno del baño, por lo que se agrupan de la siguiente manera:<sup>(15)</sup>

FUNDENTES	USO TRADICIONAL	COBERTURA LIMPIEZA ESPUMADO EXOTERMICOS LAVADO DESGASIFICADO REFINADO DE GRANO MULTIPLES
	USO DE INYECCIÓN	TODOS LOS ANTERIORES (excepto cobertura)

A elevadas temperaturas, el aluminio se combina rápidamente con el oxígeno formando óxidos como el de aluminio, magnesio, sodio y berilio. El aluminio fundido no debe agitarse violentamente para evitar que el óxido de la superficie se mezcle con todo el baño y afecte las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la aleación. Como una observación se puede ver que el baño de metal de un horno de reverbero es más susceptible a la formación de óxidos que en el de inducción, ya que en aquel está expuesto a la atmósfera mayor superficie de metal fundido por kilogramo de metal.

Una práctica incorrecta en el horno de fusión es la primer fuente de los dos mayores defectos en las piezas, es decir, porosidad e inclusiones, de las que se habló anteriormente. Además, la práctica correcta de fusión asegura una fluidez adecuada del metal y propiedades mecánicas totalmente dentro de especificaciones.<sup>(8)</sup>

Otro factor que afecta sobremanera al tratamiento de fusión del aluminio y sus aleaciones, es la contaminación de la

aleación, la cual se previene observando que el lingote y la chatarra deberán estar claramente marcados, libre del peligro de cargar dichos materiales sucios o húmedos a los hornos, ya que son una fuente de impurezas e hidrógeno, cuyo efecto ya se mencionó anteriormente. La chatarra fuertemente corroida, incrementa la cantidad de óxido en el baño y debe tenerse en cuenta ésto para el proceso de limpieza.

Las aleaciones de aluminio tanto sólidas como líquidas presentan una capa protectora, la cual consiste principalmente de óxidos, nitruros, carburos y sulfuros de aluminio; así también como de elementos de aleación e impurezas. Algunos elementos de aleación enriquecen esta película, debido a que son oxidados preferentemente respecto al aluminio y pueden ser berilio, magnesio, sodio, potasio y calcio. El sodio da una coloración azulada y las aleaciones Aluminio-Magnesio, conteniendo berilio, generan una capa dorada.<sup>(8)</sup>

Una característica del aluminio y sus aleaciones es que al romperse la capa de óxido, ésta vuelve a formarse inmediatamente.

La generación de óxido puede verse incrementada también por: temperaturas de operación altas, manejo brusco de la aleación fundida, calidad del tipo de chatarra y lingotes empleados. Es de primordial importancia la remoción de éstos óxidos, que no sólo están presentes en la superficie del metal líquido, sino también suspendidos en toda la masa metálica, se debe hacer de tal manera que el contenido de metálicos en la escoria formada sea mínimo.

Aunque el óxido de aluminio tiene una gravedad específica un poco mayor que la del aluminio líquido, regularmente es poroso y ocluye una cierta cantidad de gas, lo cual, no sólo disminuye su gravedad específica sino también provoca que dichos óxidos se encuentren suspendidos en toda la masa del metal fundido.

Para tal fin se a propuesto el uso de fundentes líquidos, los cuales son utilizados para absorber dichos óxidos, por medio de agitación sub-superficial, provocando un contacto entre la capa de fundente y metal líquido.

Así también, los fundentes pesados están diseñados para que al paso de la aleación fundida engloben y arrastren al fondo del crisol los óxidos, sin embargo, deberá hacerse una adecuada revisión antes de colar, a fin de evitar inclusiones de fundentes en las piezas.

El aluminio deberá ser fundido bajo una cobertura de fundente para reducir la absorción de gas y remover las inclusiones de óxido. La elección del fundente adecuado dependerá de la composición de la aleación, tipo de horno y a la temperatura de colada. Frecuentemente se prefiere hacer la adición a temperaturas de metal relativamente bajas; fundentes para tales metales fundidos pueden ser un problema, ya que la baja temperatura inhibe la fusión y reactividad general de las mezclas de sales. Los fundentes han sido diseñados para satisfacer el rango completo de temperaturas de colada y tipos de horno, con una elección de escorias fluidas o secas acordes con la aplicación.

Como se funde una carga enteramente sólida, el fundente apropiado debe ser generalmente agregado tan pronto como la primer parte de la carga llega a ser pastosa, aunque esto no siempre puede ser práctico; la razón de adición varía pero un 1 % es típico para aleaciones donde la absorción de sodio no es un problema.<sup>(8)</sup>

Una pequeña cantidad posterior del fundente apropiado debe ser espolvoreado sobre la superficie del baño fundido y permitir su permanencia en la misma, por espacio de 5 minutos. El fundente debe finalmente ser agitado cuidadosamente en la superficie del

metal hasta que enrojecza y pueda entonces ser desescorificado.<sup>(21)</sup>

Los fundentes idealmente deberán tener las siguientes características para su máximo aprovechamiento y rendimiento de sus funciones:<sup>(14)</sup>

- Ser insolubles en el aluminio.
- Tener un punto de fusión tan bajo como sea posible.
- Poseer suficiente fluidez y poder cubriente para aislar térmica y físicamente el metal de la atmósfera.
- Poder disolver grandes cantidades de óxidos o sustancias nocivas.
- Posibilidad de absorber las impurezas del baño metálico sin alterar sus características.
- Permeabilidad para la difusión del hidrógeno hacia fuera.
- Estabilidad a alta temperatura.
- Densidad inferior a la del aluminio.
- Que no sea higroscópico ni contamine el metal, a menos que el agua de hidratación se elimine fácilmente con su simple calentamiento.
- Que pueda retirarse fácilmente de la superficie del baño metálico sin arrastrar metal.
- Que no reaccione con el caldo, o que lo haga con el sentido previsto.
- Que su precio o empleo sea económico.
- Que no reaccione con el refractario y otros materiales.
- Que no sea nocivo para la salud y el medio ambiente.

De acuerdo a la clasificación general dada al inicio del tratado sobre fundentes, primeramente se hablará de las características de los fundentes, y posteriormente en específico de los fundentes de inyección, debido a su alta eficiencia. Existen diferentes tipos de fundentes los cuales se comentan de acuerdo a la función que desempeñan:

### FUNDENTES DE COBERTURA

Estos fundentes sirven para proteger el baño metálico del contacto del aire o de los gases de combustión.<sup>(19)</sup> Están formados principalmente por criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) y carnalita ( $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$ ); el primero protege al baño de la penetración de los gases, reduciendo las pérdidas por oxidación y, el segundo de éstos tiene como principal función la protección de las aleaciones con contenidos de magnesio arriba del 2.0%.

La utilización de este tipo de fundentes tiene su aplicación en la fusión de cargas metálicas que contienen una gran proporción de torneaduras y rebabas, así también cuando el baño metálico tiene tiempos prolongados de mantenimiento. Se agregan regularmente junto con la carga metálica y funden antes que ella, logrando una efectiva protección para prevenir la formación de óxido.

Como ejemplo de este tipo de fundentes tenemos:

30% KCl + 50% NaCl + 20%  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$

40% NaCl + 60% KCl

10%  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  + 80% KCl + 10%  $\text{K}_2\text{SO}_4$

### FUNDENTES PARA LIMPIEZA

Las escorias líquidas no sólo aglomeran los óxidos, sino que también atrapan aluminio en forma de gotas de un tamaño no superior a las 200 mallas. En consecuencia el contenido de dichos metálicos puede llegar a ser del 80 al 90 %; para tal fin se incorporan fundentes con altas propiedades que dan la fluidez y dilución deseadas, junto con la capacidad de liberar el metal atrapado en la escoria.

El efecto de limpieza no sólo es logrado por un simple mecanismo de energía superficial, sino también puede deberse a la generación de ciertas reacciones químicas, llevadas a cabo en la interfase metal-fundente, llegando a su punto de saturación una vez que el fundente comienza a engrosar. Deberá tomarse especial cuidado de evitar el uso de sales que contenga agua de hidratación.

Como ejemplo de este tipo de fundentes tenemos:

30%  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  + 10%  $\text{AlF}_3$  + 30%  $\text{KCl}$  + 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 25%  $\text{NaSiAlO}_8$

#### FUNDENTES DE ESPUMADO

Sirven para facilitar la separación de las escorias del baño, están constituidos principalmente por  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{SiF}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , actúan reduciendo el metal que tiene la escoria; provocando también que el baño sea más fluido.

Como ejemplo de las proporciones en que se mezclan este tipo de fundentes tenemos:

40%  $\text{KCl}$  + 40%  $\text{NaCl}$  + 10%  $\text{AlF}_2 \cdot 3\text{NaF}$  + 10%  $\text{Na}_2\text{AlF}_6$

#### FUNDENTES EXOTÉRMICOS

Las mezclas normales no evolucionan una cantidad apreciable de calor; el proceso probablemente es causado por el fundente sobre la superficie del metal líquido, exponiendo nuevas películas oxidadas a la atmósfera y produciendo la oxidación de las pequeñas gotas de aluminio presentes en la escoria. Esto provoca que la temperatura se eleve y se facilite la coagulación del metal en gotas más grandes, aunque claro está, la reacción provoca una cierta pérdida de metal.

Una vez desescorificado el baño metálico, dicha escoria deberá apagarse a fin de evitar que la reacción continúe generando no sólo una alta temperatura, sino también la pérdida de los metales arrastrados.

Este tipo de fundentes son particularmente útiles para la remoción de óxidos sobre las paredes refractarias de hornos de reverbero; aplicandose por medio de aspersión sobre las paredes recién enrojeadas, lograndose que el óxido se "afloje" y sea fácilmente removido.

Como ejemplo de este tipo de fundentes tenemos:

15% NaF + 40% NaCl + 30% KCl + 15% K<sub>2</sub>SiO<sub>6</sub>  
5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 40% NaCl + 20% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 20% Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> + 5% NaF + 10% KAlF<sub>4</sub>

#### FUNDENTES DE LAVADO

Estos sirven para eliminar las partículas infusibles (escoria) que están en suspensión en el baño, a veces son elementos extraños perjudiciales.

Se sumergen en el baño con una herramienta previamente protegida con alguna pintura refractaria y precalentada; las partículas infusibles se aglomeran y se envuelven en la masa de sales que las arrastra a la superficie del baño.

Como ejemplo de las proporciones en que se mezclan estos tipos de fundentes tenemos:

48% KCl + 48% NaCl + 4% NaF



## FUNDENTES DE DESGASIFICADO

Sirven para eliminar el hidrógeno que se encuentra dentro del metal, éste es absorbido por una fusión mal realizada, un calentamiento excesivo, por la humedad atmosférica, las cargas del metal húmedas o no degasificadas en su primera fusión, los productos finales de la combustión (agua e hidrocarburos), herramientas húmedas o con aceites, etc. (Fig. 1).<sup>(5,6,9,17)</sup>

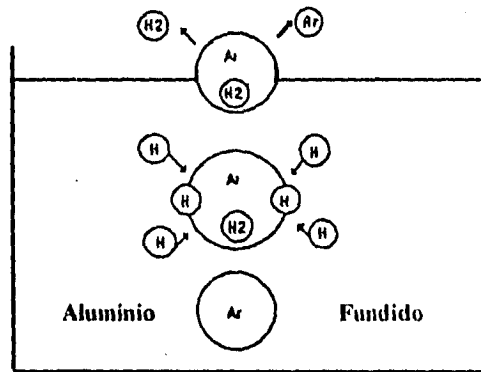


Fig. 1 Mecanismo de remoción de hidrógeno por burbujeo de gas inerte.

El hidrógeno es el gas que más problema causa en el aluminio fundido, pues dicho gas es el único que como tal es absorbido en el baño metálico del aluminio y conforme se eleva la temperatura aumenta la solubilidad (Fig. 2), los problemas ocasionados por este gas son las porosidades que se presentan en diversos tamaños como el llamado "pin-hole" (Fig. 3). La temperatura más recomendable para fundir y colar las aleaciones de aluminio es de 680 - 710°C, ya que a estas temperaturas la absorción de hidrógeno es mínima.<sup>(1)</sup>

En la combustión se recomienda mantener la flama lo más neutro posible (oxidación completa).

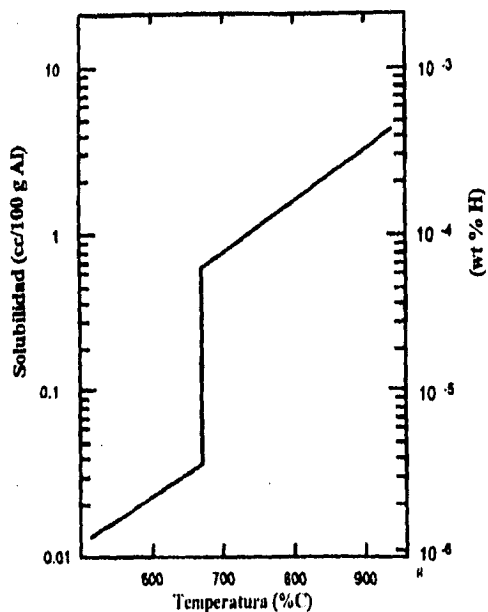


Fig. 2 Solubilidad de hidrógeno en aluminio.



(a) Muestra sin desgasificado (b) Muestra con desgasificado

Fig 3 Efecto del gas hidrogeno en una aleación de aluminio 356.

Para la eliminación del gas existen varios métodos, siendo el principio físico-químico de las presiones parciales el que se emplea para hacer reversible la absorción del gas. Para cumplir lo anterior es necesario la introducción de algún gas inerte (nitrógeno, argón, CO<sub>2</sub>, etc.) para con el aluminio en el baño metálico y eliminar el gas, así como también se emplea el uso de

gases que reaccionen físico-químicamente como el cloro y el freón, los cuales se combinan formando aluminuros que permiten la fácil y efectiva remoción del hidrógeno.

Entre los gases reactivos tenemos el gas cloro, que es extremadamente venenoso y corrosivo, aumenta el tamaño de grano en la aleación; el nitrógeno, que a menudo contiene humedad, en ambos casos es necesario mucha destreza en el manejo de las lanzas, cilindros, manómetros y otros utensilios.

El cloro puede ser producido por la descomposición de compuestos de cloruros volátiles, los cuales al estar presentes en el seno del metal fundido, son muy efectivos en la flotación y coagulación de impurezas metálicas disueltas como Na, Ca y Mg, en la superficie del metal (Fig. 4).<sup>(17)</sup> Esto se logra principalmente por la acción del burbujeo del cloro, que arrastra las impurezas y forma cloruro de aluminio, reacciona con los óxidos formando una escoria líquida.<sup>(16)</sup>

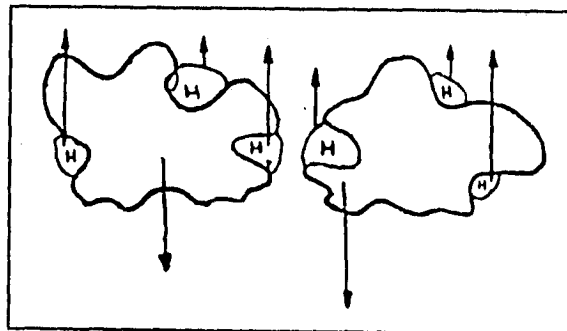


Fig.4 Fuerzas que actúan en una partícula en suspensión.

Este último efecto es mejorado si la aleación tiene magnesio, ya que al producirse el cloruro de magnesio, se logra la formación de una escoria reactiva y exotérmica. Se debe tomar en cuenta cuando el contenido de magnesio es superior al 0.4 %, dado

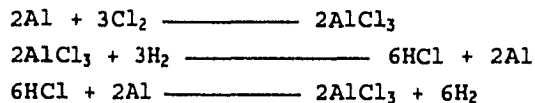
que habrá un aumento sustancial de la temperatura y una pérdida de dicho elemento. Además se verá afectada la modificación y la refinación de grano por la interacción con el sodio y el titanio.

El gas nitrógeno, se recomienda utilizarlo bajo una cobertura líquida a fin de que en ella se coagulen los óxidos y se evite la formación de una escoria con alto contenido de elementos de aleación.

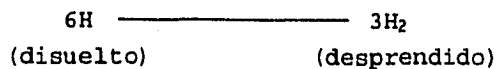
La utilización de mezclas de cloro-nitrógeno, pueden emplearse para disminuir la cantidad de emisión de humo, aunque la eficiencia es porporcional al contenido de cloro.

Por otro lado tenemos que los fundentes de desgasificado sólidos son por lo general en forma de pastillas comprimidas; el más empleado es el hexacloroetano ( $C_2Cl_6$ ) y se emplean sumergiendolos hasta el fondo mediante una campana de inmersión. También deberá estar protegida y precalentada, para la eliminación del gas hidrógeno. También se utiliza el ( $C_2Cl_4$ ), y se agregan a una temperatura de  $710^{\circ}C$  al momento en que empiece a descender dicha temperatura, durante unos 5 o 10 minutos.

Las reacciones típicas de desgasificado con cloro son primeramente:



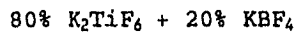
dando como resultado:



#### FUNDENTES DE REFINADO DE GRANO

Se utilizan para afinar la estructura macroscópica o microscópica de las aleaciones; están constituidos por sales o mezclas de sales conteniendo fluoruro, que libera titanio y/o boro.

Como ejemplo de este tipo de fundentes tenemos:



Al igual que los fundentes para desgasificado, también se sumergiran con campana, procurando realizar un contacto íntimo entre el fundente afinador y el metal.

Durante la solidificación de una pieza de aluminio generalmente se formarán cristales equiaxiales y columnares, el grosor y longitud de los cristales columnares dependen de la temperatura de colada y de los cambios de temperatura que existan dentro del molde. Las piezas que tienen tales estructuras poseen bajas propiedades mecánicas pero se pueden evitar, en cierto grado, empleando una temperatura baja de colada.

El control del tamaño de grano puede ser efectuado, a veces, por la introducción de elementos afinadores como el titanio, boro, zirconio o niobio, que se adicionan uno o más de éstos elementos inmediatamente antes de la colada.

Se ha reconocido desde hace mucho tiempo que el titanio y el boro son los más eficientes agentes afinadores de grano para las aleaciones de aluminio. Son agentes nucleantes, esto es, que forman núcleos o semillas de boruro de titanio o boruro de aluminio a través de la masa del baño, que originan finos granos equiaxiales de metal y que además se propaguen durante la solidificación de la pieza (Fig. 5).<sup>(2)</sup>

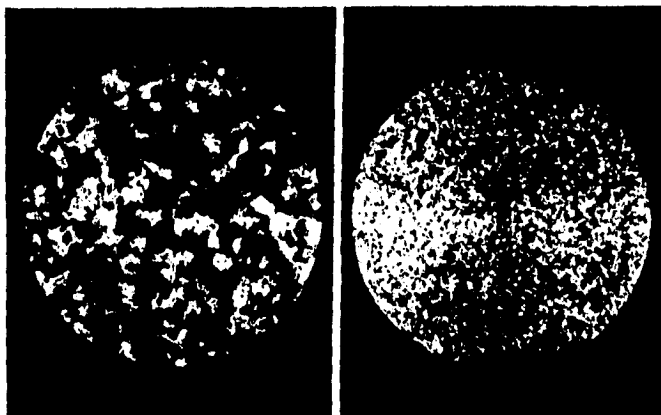


Fig. 5 (a) Muestra antes de refinado de grano. (b) Muestra después del refinado de grano.

En las piezas fundidas y en los lingotes es muy beneficioso un grano fino por varias razones:

1. Se mejoran las propiedades mecánicas.
2. Ayuda a la alimentación de la pieza.
3. Reduce la tendencia a grietas en caliente.
4. Evita el agrietado durante la forja y laminado.
5. Reduce la localización de defectos.
6. Incrementa la maquinabilidad.
7. Reduce los defectos por contracción.
8. Mejora las propiedades después del tratamiento térmico.

En el caso de aleaciones Al-Si, el elemento afinador será el sodio.

Como ejemplo de este tipo de fundentes tenemos:

40% NaCl + 60% NaF

30% NaF + 40% NaCl + 30% KCl

Al igual que los fundentes para desgasificado, también se sumergiran con campana, procurando realizar un contacto íntimo entre el fundente afinador y el metal.

Hace varios años se observó que la fluidez del aluminio se incrementaba con la adición de silicio, particularmente con un contenido en peso de 10 a 12 %, con lo cual se lograba la composición eutéctica.

Sin embargo la aleación solidificaba de una forma basta, con frágiles agujas de silicio, reduciendo considerablemente la ductilidad y resistencia mecánica.

Posteriormente se halló que estas partículas bastas de silicio se transformaban en una fina estructura fibrosa mediante la adición de sodio. Este cambio de una estructura frágil a una estructura tenaz se denomina **MODIFICACIÓN** del silicio.<sup>(12,17)</sup>

#### **Proceso de la Modificación:**

El objetivo de la "modificación" es restringir la normal nucleación y crecimiento de las agujas bastas durante la solidificación. Los factores que controlan la "modificación" son:

- 1. La velocidad de solidificación.** Un enfriamiento como sucede en una pieza de aluminio inyectado tendrá una estructura fina, pero no sucede lo mismo si se trata de una pieza con diversos espesores, colada en arena o en coquilla a gravedad.
- 2. La adición de agentes modificantes.** Trazas de ciertos elementos producen la "modificación" independientemente de la velocidad de solidificación, en otras palabras, aunque el tiempo de enfriamiento sea largo. Los agentes más eficientes para modificar la estructura del silicio en aleaciones de aluminio-silicio pueden ser, entre otros, el sodio, estroncio y fósforo (Fig. 6).

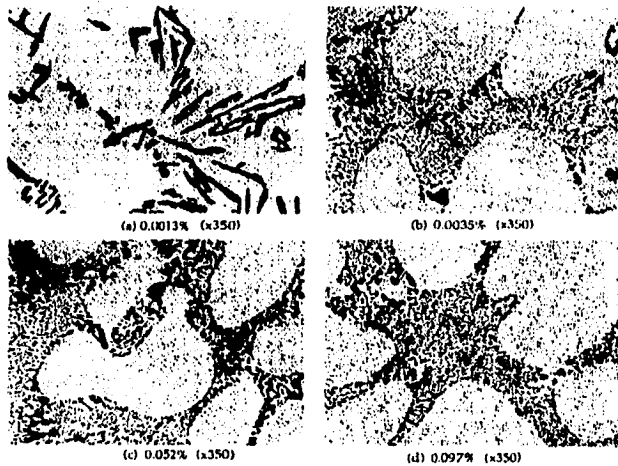
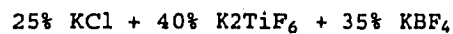


Fig.6 Cambio en la microestructura de una aleación 35Si, cuando se incrementa la concentración de estroncio.

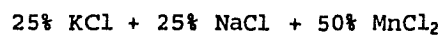
### FUNDENTES MÚLTIPLES

Existen fundentes de efectos múltiples, que ayudan a reducir el tiempo de operación y obtener un mejor rendimiento del equipo de fusión, por ejemplo:

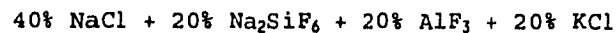
1. Para limpieza y afino:



2. Para eliminar el sodio en las aleaciones Al-Mg en forma de cloruro de sodio:



3. Para eliminar calcio en las aleaciones Al-Si en forma de  $\text{CaF}_2$ :



En estas aleaciones de Al-Si, el calcio viene acompañando al silicio metálico y es perjudicial a la aleación, además si estas aleaciones llevan magnesio se debe hacer la operación antes de agregárselo para evitar su pérdida en forma de  $\text{MgF}_2$ .

FALLA DE ORIGEN



En el mercado nacional existen compañías dedicadas a la fabricación de auxiliares para la fundición, como son los fundentes.

En el presente trabajo se mencionan algunas de estas compañías, además de hacer notar los tipos de fundentes para aluminio fabricados por las mismas, con el fin de mostrar una referencia.

Los productos anotados a continuación, difieren en cuanto a procedimiento de aplicación, cantidades y condiciones de seguridad y almacenamiento así como el costo son dependientes de cada proveedor.

COMPANÍA	FUNDENTE	APLICACIÓN	HORNO
INAFUSA	ITALPURO EXTRA	General	Crisol Reverbero Inducción
	ITALPURO TRL	Cobertura	Rotatorio Crisol Reverbero Inducción
	DEGASAL	Pastilla Desgasificante	Crisol Reverbero Inducción
	ALUFIN	Pastilla Refinadora de Grano	Crisol Reverbero Inducción
	ALUMOD	Pastilla modificadora de silicio	Crisol Reverbero Inducción
	SODIO METALICO	Modificador de silicio	Crisol Reverbero Inducción
VULCANO	VULCANO 431A	General	Crisol Reverbero Inducción
	VULCANO 431B	Limpieza Cobertura	Rotatorio Crisol Reverbero Inducción

COMPANIA	FUNDENTE	APLICACION	HORNO
VULCANO	DEGASAL 100	Pastilla Desgasificante	Crisol Reverbero Inducción
	TITANAL	Pastilla Refinadora de Grano	Crisol Reverbero Inducción
FUNIMEX	FUNDD 4	General	Crisol Reverbero Inducción
	DESGAPUNDD 100	Pastilla Desgasificante	Crisol Reverbero Inducción
	REFINAFUND	Pastilla Refinadora de Grano	Crisol Reverbero Inducción
POSECO	COVERAL 88	General	Reverbero Rotatorio
	COVERAL 11	Limpieza Exotérmico	Crisol Reverbero Inducción
	COVERAL 48	Cobertura	Rotatorio Crisol Reverbero Inducción
	COVERAL 33FF	Cobertura Limpieza Aleaciones con más de 2.0% Mg	Crisol Inducción
	ZENDOX 20	Cobertura Limpieza Aleaciones con más de 2.0% Mg	Reverbero
	ZENDOX 7	Exotérmico Limpieza Paredes de horno	Reverbero
	FEEDOL	Exotérmico para moldeo	
	NUCLEANT 2	Pastilla Refinadora de Grano	Crisol Reverbero Inducción
	TILITE	Pastilla Refinadora de Grano	Reverbero

COMPañIA	FUNDENTE	APLICACIóN	HORNO
FOSECO	NUCLEANT 363	Pastilla modificadora de silicio	Crisol Reverbero Inducción
	NAVAC	Modificador de silicio	Crisol Reverbero Inducción
AGA GAS	ALUCLEAN	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	Ar	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	N <sub>2</sub>	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
LINDE	LINDE 44	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	LINDE 56	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	Ar	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	N <sub>2</sub>	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
INFRA	SF <sub>6</sub> + Ar	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	Ar	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio
	N <sub>2</sub>	Desgasificador	Crisol Inducción Reverbero Rotatorio

Como se puede observar, se tiene una gama extensa de fundentes para usarse por aplicación clásica o tradicional, lo que representa una cierta eficiencia que es superior a no usar fundente en el tratamiento.

En la sección de inclusiones, se habló de que el metal fundido contiene inclusiones que no tienen la suficiente energía cinética para flotar, en general las partículas con tamaños menores a 1 mm pueden estar suspendidas en el metal debido a que burbujas de hidrógeno están adheridas a su superficie y así, su peso tiende a precipitarlas y las burbujas del gas a empujarla a la superficie. También se ha hablado de que los fundentes crean una reacción controlada entre el metal, las inclusiones y el fundente mismo, que permita la separación de las partículas del baño metálico aprovechando que el fundente fundido reduce la tensión superficial entre las inclusiones y el metal promoviendo la flotación de las inclusiones. Esta acción se eficientiza más con la inyección de los fundentes en el seno del baño metálico.

Utilizando los fundentes mencionados con anterioridad, pero con una granulometría controlada entre las mallas -50 y +200, se obtiene un grupo muy especial de fundentes con lo respecta a su metodología de aplicación, éstos son los fundentes de inyección.<sup>(17)</sup>

Se sabe que arriba de la malla 50, se tienen dificultades con el transporte del fundente a través del ducto de alimentación y, a menor tamaño que el de malla 200 tiende a obstruirse desde el mismo contenedor.

Otro factor importante en el proceso de inyección de fundentes es la composición química, la cual deberá tomarse en cuenta para realizar la operación deseada (limpieza, refinación, modificación, etc.).

Con este grupo se pueden conseguir eficiencias de aplicación, en cuanto a la cantidad de fundente a usar, de hasta 3.5 veces menos, con respecto a los de aplicación tradicional.

El tiempo de tratamiento también se ve modificado notablemente y lo más significativo es que la eficiencia en cuanto a la función específica a desarrollar se ve incrementada hasta obtener un 100%.

Esto es debido a que el contacto entre el fundente y el metal se lleva a cabo de una manera más íntima porque el fundente se inyecta directamente desde el fondo del baño metálico y como se tiene una granulometría fina, existe una mayor área de contacto de cada partícula de fundente, el rendimiento es mucho mayor.

Estos fundentes requerirán de equipo especial para inyección de fundentes que constan básicamente de un tanque de almacenamiento, reguladores de presión para el vehículo de transporte (gas inerte o fundente gaseoso) para el fundente, regulador para la cantidad de material a utilizar y regulador de tiempo de aplicación (Fig. 7).<sup>(17)</sup>

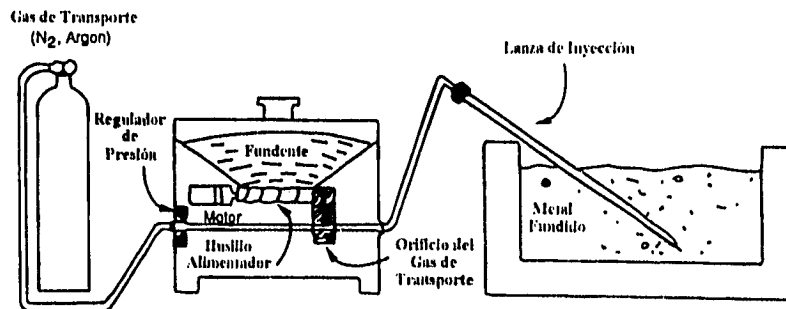


Fig 7 Representación esquemática de la inyección de fundentes.

### **Ventajas de la inyección de fundentes.**

- En una sólo operación se puede desgasificar, modificar, refinar y limpiar el metal; lo que reduce el tiempo de tratamiento.
- Debido a que los elementos refinadores, modificantes y de limpieza, se agregan en polvo, se tiene una mayor eficiencia y por lo tanto un menor consumo de éstos.
- Es un proceso más confiable ya que todos los parámetros quedan establecidos por medio de reguladores de flujo, tiempo y presión.
- El consumo de herramental (campanas y estrellas) disminuye, ya que en lugar de éstos se utiliza una lanza para inyectar la mezcla de gas y fundente.

## 7.2. FILTRADO DEL ALUMINIO

En ésta sección se menciona la utilización de los filtros cerámicos como auxiliares en la fusión y vaciado del aluminio y sus aleaciones y el porqué de su utilización.<sup>(7)</sup>

### 7.2.1 Función.

La función de los filtros de espuma cerámica es la de hacer pasar el metal líquido por este medio poroso y así atrapar la película de óxidos e inclusiones no metálicas generadas durante la fusión y el vaciado del aluminio (Figs. 8a y 8b).<sup>(2,11,13,16,20)</sup>



Fig. 8a. Muestras de filtros cerámicos.

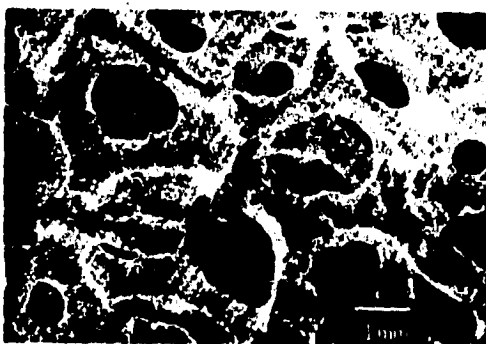


Fig. 8b. Micrografía de la superficie de un filtro cerámico por microscopio electrónico de barrido.

Las causas típicas de la formación de inclusiones no metálicas son:

1. Reacción del metal fundido con la atmósfera.
2. Reacción del metal fundido con el combustible del horno.
3. Carga de materiales sucios (rechazos, rebabas, etc.).
4. Tipo de refractarios en el horno y en olla de transferencia.
5. Turbulencia en el tratamiento o transferencia del metal fundido.
6. Otras, como el aglomerante en el refinador de grano.

#### **7.2.2 Principios Básicos.**

Para poder entender los principios básicos del filtrado de aluminio se debe tener en consideración lo siguiente:

Donde se puede filtrar:

1. Fundición primaria y secundaria de lingotes para extrusión o laminación.
2. Colada continua.
3. Fundición con moldeo en verde.
4. Fundición con moldeo en máquinas tipo Hunter.
5. Fundición con molde permanente a gravedad.
6. Fundición con molde permanente a baja presión.

Los beneficios de utilizar los filtros cerámicos son:

1. Incremento en la calidad de las piezas.
2. Incremento en la producción de piezas sanas.
3. Mejora en las propiedades físicas y mecánicas finales del producto.
4. Mejora en el acabado superficial de la pieza.
5. Ahorro económico por eliminación de scrap (retornos).



6. Ahorro de metal ya que al tener un enfriamiento unidireccional se pueden eliminar uno o algunos corredores y alimentadores ó se pueden reducir las dimensiones de los corredores, ataques y alimentadores según la pieza.
7. Ahorro en el herramental de maquinado.

Estos beneficios se deben a lo siguiente:

1. Eliminación de óxidos e inclusiones no metálicas en un rango de 1 a 30 micras.
2. Eliminación de la turbulencia generada en el vaciado, creando un flujo laminar.
3. Disminución de la temperatura de vaciado.

Como seleccionar un filtro:

1. Cantidad de metal a filtrar.
2. Flujo requerido.
3. Grado de limpieza para el producto final.
4. Nivel de limpieza del metal a ser filtrado.
5. Flujo requerido cuando el filtro es un factor de control.
6. Dimensiones de los canales de flujo, corredor(es) y/o ataque(s).

TAMAÑOS Y FORMAS DE FILTRO.

Estos van desde 1.5 a 23 pulgadas de diámetro o por lado cuando son cuadrangulares, con espesores de 0.5 a 2.5 pulgadas y además difieren entre ellos en el número de poros por pulgada lineal y existen de 10, 15, 20, 30 y 40 poros/pulgada lineal.

Para dar un ejemplo de flujos típicos (lb/min) que se alcanzan en el filtrado del aluminio, utilizando dichos filtros, se presenta la siguiente tabla, que además puede servir de guía para la aplicación de los filtros de espuma cerámica en un sistema de colada:

Tamaño Poro	7"	9"	12"	15"	17"
20 ppi*	44-132	88-264	176-526	264-792	352-1056
30 ppi*	22-88	66-176	132-352	176-528	242-704

\*ppi = Poros por pulgada lineal.

Formas de aplicación.

Se pueden colocar en forma vertical, horizontal o inclinada según la necesidad o aplicación en el molde.

Ventajas del filtro de espuma cerámica sobre otros tipos de filtro.

Existen otros tipos de filtro que se utilizan en la fundición, como son los de malla metálica u otra clase de material y los cerámicos con poros en forma de célula, pero que en comparación con los filtros de espuma cerámica, aparentemente realizan su trabajo de filtrado.

A continuación se enlistan las ventajas en la utilización del filtro de espuma cerámica y además también se mencionan algunas desventajas de los otros filtros con lo que se demuestra que no cumplen con su función.

1. La instalación es sencilla y de bajo costo en el sistema de filtrado.
2. Consumo mínimo de energía.
3. Se pueden adaptar a cualquier sistema excepto a alta presión.
4. Con respecto a los otros dos tipos de filtro, éstos sólo retendrán las partículas que sean de dimensión mayor al tamaño de poro que tengan, cosa que no sucede con los filtros de cerámica.
5. El flujo turbulento no será modificado a laminar en el caso de los de tipo malla.

## 8. DEFECTOS EN LAS PIEZAS DE FUNDICIÓN

Generalmente las piezas fundidas perfectas son aquellas clasificadas como homogéneas y libres de defectos de fundición.

Los defectos de fundición de las piezas moldeadas son originadas por varias causas que pueden localizarse en el material, el diseño, el equipo, el proceso o en las herramientas.

La presencia de los defectos exige, además de su eliminación en la pieza, si es posible, una corrección del método seguido para evitar su aparición y repetición en las siguientes coladas. Sin embargo, debe considerarse que la causa principal de los defectos es el elemento humano.

Los defectos pueden ser originados por una causa o por la combinación de algunas de las anteriores citadas.

En cualquier pieza fundida, los defectos de contracción (rechupes), fracturas, vaciado incompleto y juntas frías serán causas para rechazar, mientras que deberá permitirse algún margen para los defectos de porosidad, cavidades, materia extraña y segregación. Muchos defectos son causados por limitaciones inherentes del diseño de la fundición, la composición química de la aleación o por el procedimiento pobre de fusión o por accidentes o descuidos del operario.

Para evaluar un defecto primero debemos conocerlo y se comenzará por determinar su naturaleza y características, identificándolo plenamente, así como su magnitud y frecuencia.

A continuación se hace una clasificación de los principales defectos de fundición encontrados en las piezas de aluminio:

1. POR UN MALA PRÁCTICA DE FUSIÓN

- A) Porosidad.
  - a) Por gas.
  - b) Por reacción.
  - c) Por vapor.
- B) Fractura frágil por grano grueso.
- C) Estructura no modificada.

2. CAUSADOS DURANTE EL VACIADO Y SOLIDIFICACIÓN

- A) Por gas atrapado.
- B) Inclusiones.
  - a) De óxidos y/o escoria.
  - b) De materia extraña.
- C) Material frío, falsa unión o juntas frías.
- D) Segregaciones.
- E) Vaciado incompleto o piezas faltas de metal.

Existen otros defectos que aparecen en las piezas de fundición, que no son debidos a prácticas indebidas de fusión o al uso inadecuado de fundentes y se mencionan como sigue:

1. POR MOLDEO Y DISEÑO DE ALIMENTACIÓN DE LAS PIEZAS

- A) Superficie rugosa o áspera.
- B) Apisonado flojo.
- C) Huecos por inclusiones de arena.
- D) Colas de rata o líneas de la arena.
- E) Veteado.
- F) Dartas o costras de arena.
- G) Desplazamiento del molde, corazones y enfriadores.
- H) Explosiones en la arena.
- I) Sopladura o poros.
  - a) Poros abiertos o de tipo normal.
  - b) Sopladuras internas.
  - c) Sopladuras del corazón.
  - d) Sopladuras de los enfriadores.

e) Sopladuras aplastadas.

J) Contracción o Rechupes.

a) Por alimentación deficiente del metal.

b) Por alta temperatura de vaciado.

c) Por alimentación insuficiente del molde, defecto interno, superficie esponjosa y con rechupes internos muy finos.

K) Grietas.

a) Por contracción térmica en la solidificación.

b) Por contracción en los cambios de sección.

## 9. ASPECTO ECONÓMICO DE LA BUENA PRÁCTICA EN EL USO DE FUNDENTES

Para el análisis económico de la fusión del aluminio se tomarón datos en base a la experiencia y que en algunos casos serán promedios o supuestos y nos conducirán a la obtención de un resultado que servirá como guía para la evaluación de un determinado proceso, tomando en cuenta valores reales y actuales.

Se va a suponer una carga de 50,000 Kilogramos que tiene una pérdida típica (merma) del 4 %, por lo tanto se pierden 2,000 Kilogramos de aluminio.<sup>(10,22)</sup>

El óxido de aluminio consiste aproximadamente de 50 % en peso de aluminio y 50 % en peso de oxígeno.

La escoria formada en la fusión del aluminio y sin ser tratado con algún fundente, tiene en ella un contenido de aluminio del 80 %, por lo que los 2,000 Kilogramos de merma equivalen a:

1,600 Kg de aluminio metálico
+ 800 Kg de óxido de aluminio (400 Kg Al + 400 Kg O <sub>2</sub> )
<hr/>
2,400 Kg de escoria formada

El total del contenido de aluminio metálico en la escoria es ahora aproximadamente del 67 % (1,600 Kg de Aluminio fuera, de un total de 2,400 Kg de escoria).

**TRATADO DEL BAÑO METÁLICO**

	<b>SIN USO DE FUNDENTE</b>	<b>PRÁCTICA CORRECTA CON FUNDENTE</b>	<b>PRÁCTICA INCORRECTA CON EXCESO DE FUNDENTE</b>
<b>FUNDENTE USADO</b>	0	50 Kg (0.10 %)	150 Kg (0.30 %)
<b>METAL PERDIDO EN REACCIÓN EXOTÉRMICA POR USO DE FUNDENTE</b>	0	80 Kg (5 %)	320 Kg (20 %)
<b>TOTAL DE ÓXIDO ADICIONAL FORMADO (Al + O<sub>2</sub>)</b>	0	160 Kg	640 Kg

**TRATADO DE LA ESCORIA**

	<b>SIN USO DE FUNDENTE</b>	<b>PRÁCTICA CORRECTA CON FUNDENTE</b>	<b>PRÁCTICA INCORRECTA CON EXCESO DE FUNDENTE</b>
<b>TOTAL DE ESCORIA INCLUYENDO FUNDENTE</b>	2,400 Kg	2,610 Kg	3,190 Kg
<b>METAL CONTENIDO EN ESCORIA</b>	1,600 Kg (67 %)	392 Kg (15 %)	798 Kg (25 %)
<b>ALUMINIO RECUPERADO</b>	0	1,128 Kg	482 Kg
<b>CANTIDAD DE ESCORIA A SER VENDIDA</b>	2,400 Kg	1,482 Kg	2,708 Kg

**TRATADO DE COSTOS**

	SIN USO DE FUNDENTE (N \$)	PRÁCTICA CORRECTA CON FUNDENTE (N \$)	PRÁCTICA INCORRECTA CON EXCESO DE FUNDENTE (N \$)
<b>COSTO ORIGINAL DE 2,000 Kg DE ALUMINIO (5.40 N \$/Kg)</b>	(10,800)	(10,800)	(10,800)
<b>COSTO DEL FUNDENTE (2.50 N \$/Kg)</b>	0	(125)	(375)
<b>CREDITO POR EL VALOR DE ALUMINIO RECUPERADO (5.40 N \$/Kg)</b>	0	6,091	2,603
<b>VALOR DE LA ESCORIA (N \$/Kg DE AL CONTENIDO)</b>	1.93	0.77	0.77
<b>CREDITO POR LA ESCORIA VENDIDA</b>	3,088	302	615
<b>COSTO TOTAL DE LA MERMA</b>	(7,712)	(4,532)	(7,957)

De los resultados finales del costo total de la merma se deduce entonces que los ahorros debidos a una buena práctica de tratamiento con fundente, por cada 50,000 Kilogramos de aluminio procesado son como sigue:

- |                                  |      |       |
|----------------------------------|------|-------|
| a) Contra no usar fundente       | N \$ | 3,180 |
| b) Contra la práctica incorrecta | N \$ | 3,420 |

Ahora bien, este análisis fué hecho para una sólo carga de 50,000 Kilogramos, si se proyectan los resultados a un mes (20 días hábiles) se tiene lo siguiente:

- |                                  |      |        |
|----------------------------------|------|--------|
| a) Contra no usar fundente       | N \$ | 63,600 |
| b) Contra la práctica incorrecta | N \$ | 68,500 |



A un año, suponiendo 10 meses netos de trabajo se tendría el siguiente análisis:

- |                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| a) Contra no usar fundente       | N \$ 636,000 |
| b) Contra la práctica incorrecta | N \$ 685,000 |

## 10. CONCLUSIONES

Como consecuencia de la creciente demanda en la calidad de las piezas de fundición y manufacturadas con aleaciones de aluminio, cada día se exigen mejoras en los tratamientos del baño metálico.

Estas mejoras sólo se podrán llevar a cabo con la ayuda de los fundentes, con los cuales se demuestra en este trabajo que presentan una alta eficiencia, se pagan y además, se obtiene un ahorro económico considerable.

Cabe hacer notar que además del ahorro económico, se tienen otros beneficios adicionales como son:

1. Incremento en la producción.
2. Incremento en la calidad de las piezas.
3. Mayor rendimiento de los recursos (metal virgen, ligas, humanos).
4. Ahorro en combustibles.
5. Ahorro energético.
6. Ahorro en materiales de moldeo.
7. Ahorro en materiales para acabado.
8. Ahorro en tiempo de proceso.

Donde todos estos beneficios harán que la empresa sea más sana.

11. ANEXO I

## ALEACIONES UTILIZADAS EN FUNDICION A PRESION

ESPECIFICACIONES SIMILARES							COMPOSICION QUIMICA (%)*										
ALUMINUM ASSOCIATION <sup>1</sup>	GENERAL DESIGNATION <sup>2</sup>	ASTM <sup>3</sup> (Equivalent Designation)	SAE 1974	CHEVROLET CORP.	FORD MOTOR CORP.	GENERAL MOTORS CORP.	%	Pb	Cu	Mg	Mn	Zn	Si	Fe	Other	Cast No.	Total
B380 I B380 O 380 D	A380 I A380 O 380 D	A380 I A380 O 380 D (SC380-B)	308 (A380 I) 308 (380 I)	MS 2410-D MS 2485 MS 2423 I	M 2A18 M 2A7	GM 4189-M	7.5-9.5	1.0	3.0-4.0	30	18	50	1.0	35	---	---	50
A380 I A780 O 380 D	A380 I A380 O 380 D	A380 I A380 O 380 D (SC380-B)	308 (A380 I) 308 (380 I)	MS 2410-D MS 2485 MS 2423 I	M 2A23 M 2A7	GM 4189-M	7.5-9.5	1.0	3.0-4.0	50	10	50	3.0	35	---	---	50
383 I 383 O	383 O	383 I 383 O (SC1144)	383 (383 I)	---	---	GM 4213-M	9.5-11.5	6-1.0	2.0-3.0	50	10	30	3.0	15	---	---	50
A384 I A384 O	384 O	384 I 384 O (SC1144)	303 (384 I)	MS 2410-A	M 2A7	---	10.5-12.0	1.0	3.0-4.5	50	10	50	1.0	25	---	---	50
384 I 384 O	384 I 384 O	384 I 384 O (SC1144)	303 (384 I)	MS 2410-A	---	---	10.5-12.0	1.0	3.0-4.5	50	10	50	3.0	35	---	---	50
A38C I A38C O 380 D	A380 I A380 O 380 D	A380 I A380 O 380 D (SG100A-B)	309 (A380 I)	---	---	---	9.0-10.0	1.0	8	36	40-6	50	50	10	---	---	23
C443 I C443 O	C443 I C443 O	C443 I C443 O (SC50)	304 (C443 I)	---	---	---	4.5-6.0	1.0	8	36	18	60	50	15	---	---	23
A413 I A413 O 413 O	A413 I A413 O 413 O	A413 I A413 O 413 O (SC124)	305 (A413 I)	MS 2410-B	M 2A7	GM 4887-M	11.0-13.0	1.0	8	35	10	50	50	15	---	---	23
518 I 518 O	518 I 518 O	518 I 518 O (SGA)	---	ME 2412	---	GM 4219-M	35	1.0	26	35	7.5-8.5	15	15	15	---	---	23
---	---	---	---	---	---	---	11.0-12.0	40-1.00	30	33	25-40	26	1.0	10	Cr 30-40	---	23

1. No. de lista de 1971.  
2. 33 de November de 1971, con el nombre de A380, del 31 de Agosto de 1968.  
3. 28 de Mayo de 1963 con el nombre de A380, del 31 de Agosto de 1968.  
4. Documento de trabajo de 1971, con el nombre de A380, del 31 de Agosto de 1968.  
5. 28 de Mayo de 1963 con el nombre de A380, del 31 de Agosto de 1968.  
6. Todos los valores excepto los porcentajes en peso.

FALLA DE ORIGEN

PROPIEDADES MECANICAS TICAS				PROPIEDADES FISICAS TICAS				CARACTERISTICAS TICAS FISICAS Y DE FUNDICION														
Alum. Assn.	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Alum. Assn.	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Alum. Assn.	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba	Temp. de prueba				
B380 I B380 O 380 D	47,000	23,000	3.5	80	1000-1100	100	11.8	75	23	E	D	B	A	C	C	B	B	C	D	B	Yes	Yes
A380 I A380 O 380 D	47,000	23,000	3.5	80	1000-1100	100	11.8	74	23	B	B	B	A	C	C	B	B	C	D	B	Yes	Yes
383 I 383 O	41,000	20,000	3.5	75	840-1080	98	11.7	22	23	A	B	A	A	B	B	C	B	D	D	D	No	No
A384 I A384 O	18,000	9,000	2.5	61	860-1080	100	11.5	23	23	A	B	B	A	C	C	B	B	E	D	B	Yes	Yes
384 I 384 O	48,300	24,000	2.5	81	860-1080	100	11.8	22	22	A	F	B	A	C	C	B	D	F	D	B	No	No
A38C I A38C O 380 D	46,300	24,900	1.5	60	1035-1105	105	11.5	27	27	A	A	A	B	B	C	C	A	C	C	B	Yes	Yes
C443 I C443 O	33,700	14,300	9.0	66	1080-1170	107	12.3	37	34	C	D	B	E	B	E	D	B	C	C	E	No	No
A413 I A413 O 413 O	43,300	21,000	3.5	70	1075-1080	108	11.3	31	29	A	A	C	C	B	D	E	C	F	C	C	Yes	Yes
518 I 518 O	48,000	24,000	5.0	80	880-1150	980	12.4	24	23	B	E	E	E	A	A	A	E	A	A	A	Yes	Yes
---	47,000	24,000	7.0	80	1040-1120	105	12.0	30	29	A	B	B	B	A	C	C	B	D	C	A	Yes	Yes

1. Por grado Fahrenheit, 2. En libras por pulgada cuadrada, 3. En libras por pulgada cuadrada, 4. En libras por pulgada cuadrada, 5. En libras por pulgada cuadrada, 6. En libras por pulgada cuadrada.

## ALEACIONES PARA MOLDE PERMANENTE

ESPECIFICACIONES SIMILARES							CARACTERISTICAS QUIMICAS (%) <sup>1</sup>												
ALUMINIO SIN MAGNESIO	GENERAL 80-85Zn 85-90Zn	ASTM E360 E361 (C8190A)	SAE Y100	CONVELER 8000	FOND DITOR 01	GENERAL DUTY 000	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Al	Zn	Ti	OTROS		
218 1 218 0	218 1	218 1 218 0 (C8190A)	---	---	---	---	3.5-4.5	1.2	9.0-11.0	0	20-38	---	1.0	1.5	38	---	50		
213 1 213 0	213 1 113	---	---	---	M 247	---	1.0-3.0	30	0.0-0.0	0	10	---	---	25	2.5	25	50		
---	---	---	---	---	---	GM 4224-01	5.5-6.5	30	0.5-0.5	5	25-0	---	---	---	0	25	50		
8285 1 8285 0	8285 1 8185	8285 1 8285 0 (C821A)	380 (3285-1) (3285-0)	MS 2413	---	---	2.0-3.0	0	4.0-5.0	35	35	---	---	35	50	38	30		
308 1 308 0	308 1 A108	308 1 308 0 (C308A)	---	---	---	---	5.0-6.0	0	4.0-5.0	50	10	---	---	---	1.0	25	50		
---	---	---	---	---	---	---	5.0-6.0	0	3.5-4.0	50	10	2	---	---	1.0-2.0	25	50		
A319 1 A319 0	---	---	---	---	---	---	5.0-6.0	0	3.0-4.0	50	10	2	---	---	3.0	25	50		
319 1 319 0	319 1 319	319 1 319 0 (C319A)	328 (319-1) (319-0)	MS 2414	M 247	---	5.5-6.5	0	3.0-4.0	50	10	---	---	---	1.0	25	50		
A332 1 A332 0	A332 1 A132	A332 1 A332 0 (C332A)	332 (A332-1) (A332-0)	MS 1308	---	GM 4160-01	11.0-13.0	0	30-1.50	35	0-1.3	---	---	2.0-3.0	38	25	35		
F332 1 F332 0	F332 1	F332 1 F332 0 (C332A)	332 (F332-1)	MS 2028 MS 2012	---	GM 4334-01	8.5-10.5	0	2.0-4.0	30	0-1.3	---	---	50	1.0	25	50		
332 1 332 0	---	---	334 (2322-1)	---	---	---	11.0-13.0	0	1.5-3.0	30	0-1.5	---	---	30-1.5	1.0	25	50		

1. Si se desea el 100% de Al.  
 2. Si se desea el 100% de Zn.  
 3. Si se desea el 100% de Cu.  
 4. Si se desea el 100% de Ni.

5. Verificar las especificaciones de los proveedores.

FALLA DE ORIGEN

Aluminio SIN MAGNESIO	PROPIEDADES MECANICAS TICAS				PROPIEDADES FISICAS TICAS				CARACTERISTICAS TICAS FISICAS Y DE FUNDICION															
	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Elongación a la rotura A (%)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (ksi)					
213 1 213 0	27 000	13 000	13	13	1013-1130	088	12.4	61	38	B	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
218 1 218 0	29 000	14 000	7.5	25	1013-1130	088	12.4	61	38	B	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
319 1 319 0	27 000	13 000	3.5	7.5	1025-1125	088	12.0	61	38	B	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
332 1 332 0	24 000	12 000	0.0	45	1085-1170	087	12.3	37	26	A	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
332 1 332 0	24 000	12 000	0.0	45	1085-1170	087	12.3	37	26	A	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
332 1 332 0	25 000	13 000	7.2	13	1035-1125	087	11.9	61	38	B	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
332 1 332 0	27 000	13 000	0.0	45	1035-1125	087	11.9	61	38	B	A	B	A	A	A	C	C	C	B	D	B	B	B	Ms
332 1 332 0	30 000	15 000	10.0	70	1025-1125	088	12.0	35	22	E	C	E	D	Ms	A	A	A	E	A	A	C	D	Ms	
332 1 332 0	40 000	20 000	0.5	70	1100-1400	100	13.4	30	33	D	D	E	E	Ms	A	A	A	E	A	A	D	D	Ms	
332 1 332 0	40 000	20 000	11.0	60	435-1200	100	13.9	61	42	D	D	D	D	Ms	A	A	A	D	C	C	F	F	Ms	
332 1 332 0	22 000	11 000	10.0	35	400-1175	100	12.9	40	41	D	D	D	D	Ms	A	A	A	D	C	C	E	E	Ms	

1. Para mayor información, ver especificaciones de los proveedores.  
 2. Características físicas típicas de las aleaciones de aluminio.  
 3. Características físicas típicas de las aleaciones de aluminio.

FALLA DE ORIGEN

PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS				PROPIEDADES FISICAS TÍPICAS				CARACTERÍSTICAS TÍPICAS FÍSICAS Y DE FUNDICIÓN																
Identificación	Resistencia a la tracción (kg/cm²)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Densidad (kg/cm³)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de fusión (°F)				
713 1 713 2	30 300	24 000	1.5	70	105-110	223	21	21	B	C	C	C	B	B	C	B	B	D	D	C	C	C	C	
713 1 713 2	70 200	27 000	1.3	70	105-110	223	20	20	B+	C	C	C	B	B	C	B	B	D	D	C	C	C	C	C
829 1 829 2	25 000	27 000	1.3	70	105-110	223	20	20	C	C	C	C	D	H	D	C	B	A	C	B	B	D	D	C
829 1 829 2	25 700	16 000	2.0	70	105-110	223	21	21	B	B	B	B	B	M	C	C	C	B	D	C	C	C	C	C
A312 1 A312 2	27 000	19 000	2.0	65	100-110	212	20	20	B	B	B	B	C	H	D	C	B	D	C	C	C	C	C	C
A312 1 A312 2	27 000	14 000	2.0	65	100-110	212	20	20	B	B	B	B	C	H	D	C	B	D	C	C	C	C	C	C
A312 1 A312 2	21 000	10 000	2.0	65	100-110	212	20	20	B+	B+	C	B+	H	C	C	C	B	D	C	C	C	C	C	C
A312 1 A312 2	20 000	20 000	5	60	100-110	212	20	20	A	B	C	A	H	C	B	E	D	E	B	B	A	B	A	B
A312 1 A312 2	20 000	20 000	1.0	60	100-110	212	20	20	A	B	B	A	H	C	C	D	C	E	C	C	C	C	C	C
A312 1 A312 2	20 000	20 000	1.0	60	100-110	212	20	20	A	B	C	A	H	B	C	D	C	D	C	D	B	B	A	B

1. En caso de duda, consulte con el fabricante.  
 2. Características típicas de fundición.  
 3. Características típicas de fundición por gravedad.

Identificación	Especificación	Especificación	ESPECIFICACIONES SIMILARES				COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)												
			CARBÓN	CIENCO	SIENCO	SIENCO	C	Si	Ca	Mn	Pb	S	Mg	Al	Fe	Si	Al	Fe	TOTAL
353 1 353 2	353 1 353 2	353 1 353 2	322 (355 1)	345 2418	---	---	4.5-5.5	50	1.0-1.5	50	45-50	25	---	35	20	---	06	---	15
C353 2 C353 2	C353 2 C353 2	C353 2 C353 2	330 (C355 2)	---	---	---	4.5-5.5	75	1.0-1.6	80	40-50	20	15	30	25	06	---	15	
643 1 643 2	443 1	443 1 443 2	35 (443 1)	---	---	---	4.5-6.0	6	20	80	05	25	---	50	25	---	35	---	
A443 1 A443 2	A443 1	A443 1 A443 2	---	---	---	---	4.5-6.0	6	30	80	05	25	---	50	25	---	35	---	
356 1 356 C	356 1	356 1 356 C	370 (356 1)	MS 2418	MS 2A7	GM 4323-M	6.5-7.5	80	25	35	25-40	---	---	35	25	05	15	---	
A356 2 A356 2	A356 2	A356 2 A356 2	388 (A356 1)	---	---	---	6.5-7.5	12	10	86	30-40	---	---	05	25	05	15	---	
535 2 535 2	535 2	535 2 535 2	---	---	---	---	10	10	05	10-25	6.5-7.5	---	---	---	10-25	05	15	---	
713 1 713 2	713 1 713 2	713 1 713 2	315 (713 2)	---	---	---	25	8	40-1.0	8	25-30	36	15	7.0-8.0	25	10	25	---	
860 1 860 2	860 1	860 1 860 2	---	---	---	---	7	80	7-1.5	10	10	---	7-1.5	---	20	---	30	---	
8850 1 8850 2	8850 1	8850 1 8850 2	---	---	---	---	40	80	1.7-2.5	10	7-9	---	9-1.5	---	20	---	30	---	

1. En caso de duda, consulte con el fabricante.  
 2. En caso de duda, consulte con el fabricante.  
 3. En caso de duda, consulte con el fabricante.  
 4. En caso de duda, consulte con el fabricante.  
 5. En caso de duda, consulte con el fabricante.







## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. John E. Gruzleski and Bernard M. Closset. "The treatment of liquid Aluminum-Silicon alloys" The American Foundrymen's Society Inc. 1990.
2. A publication of The American Foundrymen's Society Inc. "Aluminum Casting Technology" 1986.
3. D. Apelian. "How clean is the metal you cast" Proceedings of 3rd. international conference on molten aluminum processing. 1992.
4. C. E. Eckert. "The origin and identification of inclusions in foundry alloys" Proceedings of 3rd. international conference on molten aluminum processing. 1992.
5. Rasmussen, C. E. Eckert. "RPT gauges aluminum porosity" Modern casting. March, 1992.
6. S. K. Dewese, R. Atkinson, W. Rasmussen. "RPT measures hydrogen effects on casting quality" Modern casting. April, 1992.
7. Seele Corp. Reporte técnico para la aplicación de filtros cerámicos en la industria de la fundición.
8. The Foseco Foundryman's Handbook. 10th Edition. 1993.
9. Instituto Mexicano del Aluminio, A. C. "Memorias del 2o. Panel Técnico de la Fusión del Aluminio" Mayo, 1993.
10. Foseco International Limited "Technical Bolletin" January, 1993.

11. Foseco Inc. "SIVEX S200 Technical Report" November, 1992.
12. Metals Handbook "Aluminum Casting Alloys"
13. Industria Mexicana del Aluminio, S.A. "Fusión de Aluminio para lingotes de laminación" Reporte Técnico.
14. Ignacio Alfaro Abreu, Remetal, S.A. "Operaciones en el tratamiento de los baños metálicos" Reporte Técnico.
15. Netzahualcoyotl Zavala. Industria Mexicana del Aluminio, S.A. "Clasificación de fundentes para fundición" Reporte Técnico.
16. Foseco International LTD. "Foundry Practice" No. 224 March, 1993.
17. H. Raul Raya M., Gustavo Hernández U. "Nuevos desarrollos en la inyección de fundentes en las aleaciones de aluminio" Moldeo y Fundición. Febrero, 1993.
18. José Luis Alonso V. "Modificación con Estroncio" Moldeo y Fundición. Febrero, 1993.
19. Alfredo Flores, José Escobedo, Alejandro Manzano, Enrique Nava. "Desarrollo de Fundentes Protectores para aleaciones de aluminio líquidas" Moldeo y Fundición. Febrero, 1992.
20. A. H. Castillejos, F. A. Acosta, J. M. Almanza. "Filtración de aluminio con un nuevo medio cerámico poroso" Moldeo y Fundición. Diciembre, 1992.
21. P. N. Crepeau, M. L. Fenyes, J. L. Jeanneret. "Solid Fluxing Practices for Aluminum Melting" Modern Casting. July, 1992.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

22. P. N. Crepeau; B. P. Cochran, R. P. Mulac. "Solid Aluminum Fluxing Issues" Modern Casting. August, 1992.
23. Michael J. Lessiter. "Understanding Inclusions in Aluminum Castings" Modern Casting. January, 1993.