



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DESARROLLO DE TÉCNICAS DE FUSIÓN PARA LA
RECUPERACIÓN DE CHATARRA DE ALUMINIO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

P R E S E N T A

ROGELIO DE AQUINO LARA



MEXICO, D. F.

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROF. EUSEBIO CÁNDIDO ATLATENCO TLAPANCO

VOCAL: PROF. CARLOS GONZÁLEZ RIVERA

SECRETARIO: PROF. ARTURO ALEJANDRO SÁNCHEZ SANTIAGO

1er. SUPLENTE: PROF. GERARDO ARAMBURO PÉREZ

2do. SUPLENTE: PROF. SERGIO GARCÍA GALÁN

**Sitio donde se desarrollo el tema: Laboratorio de Fundición, Departamento
de Ingeniería Química Metalúrgica.
Facultad de Química, Edificio D, UNAM**

Asesor del tema: _____

I.Q.M. Eusebio Cándido Atlatenco Tlapanco

Supervisor Técnico: _____

M. en C. José Alejandro García Hinojosa

Sustentante: _____

Rogelio Deaquino Lara

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1. CLASIFICACIÓN DE LA CHATARRA.....	5
3. FUNDAMENTOS.....	10
3.1 IMPUREZAS COMUNES EN LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.....	10
4. FUNDENTES.....	17
4.1 APLICACIONES.....	17
4.2 COMPOSICIONES	18
5. TÉCNICA DE FUSIÓN.....	21
6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	29
7. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	32
8. RESULTADOS.....	39
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
10. CONCLUSIONES	52
11. BIBLIOGRAFÍA.....	55

PROLOGO

El ser humano, en búsqueda constante de materiales que faciliten su vida, descubrió la posibilidad de sustituir algunos de los metales que acostumbraba usar, por otros que fueran más efectivos en el que hacer cotidiano.

El aluminio fue uno de los que respondieron a esa necesidad, por su bajo peso, la relación de este con su resistencia mecánica, su maleabilidad y su conformabilidad, su gran resistencia a la corrosión y su elevada conductividad térmica y eléctrica; su nulos toxicidad y magnetismo, así como su resistencia a la tracción. Inclusive, combinándolo con otros metales y sometiénolo a diversos tratamientos, el aluminio puede ser utilizado en un sin número de procesos para la obtención de gran variedad de productos⁽⁹⁾. Posteriormente se dio cuenta que era posible re utilizar los productos de aluminio que desechaba para fabricar nuevos productos a partir de ellos, en lugar de utilizar aluminio obtenido a partir del mineral, y de esta manera comenzó a reciclarlo; actualmente esta actividad ha cobrado preponderancia en todo el mundo, por lo que se requiere un mayor estudio de este tema en nuestro país.

I. INTRODUCCIÓN

México es un país que no cuenta con depósitos de minerales de aluminio (bauxíticos), por tal motivo si se pretende obtener aluminio primario, se debe importar del extranjero, ya sea en forma de mineral para posteriormente reducirlo a alumina y esta a su vez en aluminio metálico, o en forma de lingotes y productos terminados o como chatarra, principalmente de E. U.⁽³⁾.

Si se importa en forma de mineral, los requerimientos termodinámicos de energía para la reducción de la alumina son muy altos lo cual repercute directamente en el costo del proceso, siendo este muy elevado.

La importación de aluminio en forma de lingotes o de chatarra equivale a una importación neta de energía en ambos casos, la diferencia radica en el precio, ya que el aluminio en lingotes es mucho más caro que en forma de chatarra.

Por todo esto el reciclado del metal se está haciendo cada vez más importante, ya que la producción de nuevas aleaciones y piezas de aluminio a partir de este material requiere de solamente un 5 % de la energía que se necesita cuando se parte del mineral⁽¹⁾, además el medio ambiente resulta beneficiado en doble forma: se evita generar más basura y se ahorra en consumo de energía debido a que una lata vacía tirada equivale a perder para siempre el equivalente a la mitad de su contenido en volumen de gasolina⁽³⁾.

Pero el proceso de re circulación en nuestro país actualmente no se ha desarrollado en forma conveniente como ha ocurrido en algunos países más industrializados, por lo cual las empresas al igual que las instituciones educativas como la UNAM deben unir sus esfuerzos para poder dar solución a esta problemática.

Debe contarse primeramente con una adecuada selección y distribución de la chatarra, posteriormente se deben diseñar técnicas de fusión adecuadas que permitan altos niveles de recuperación, para posteriormente poder trabajar con procesos que involucren algún otro tipo de variables tales como la eliminación de algunas impurezas presentes en la chatarra, descalificación, tratamiento de chatarras pobres, etc.

Como una aportación para solucionar el problema antes mencionado se tomó el aspecto importante del diseño de técnicas de fusión para la recuperación de chatarra de aluminio.

2. ANTECEDENTES

Originalmente, la explotación de recursos minerales no renovables y su transformación fue la vía por la cual se obtenían diversos metales. A estos se les denominó primarios. Para el caso del aluminio, la bauxita transformada en alumina y esta, a su vez, en aluminio, ejemplifica el concepto de aluminio primario. A partir de la segunda década de este siglo y con la aceleración de los procesos industriales, la necesidad cada vez mayor de metales ferrosos y no ferrosos, hizo surgir con fuerza el requerimiento de un, también mayor, abastecimiento de estos, fue así como se introdujo el concepto de reciclaje o recuperación, aplicándose el término de aluminio secundario. De este reciclaje se obtuvo metal nuevamente utilizable⁽⁹⁾. Con el transcurso de los años, la industria consumidora de aluminio secundario ha ido viendo la transición desde un negocio simple en donde se funde la chatarra y se producen lingotes o piezas fundidas, tirando la escoria en su patio trasero, hasta una industria de mayor especialización para poder procesar chatarras pobres en una manera más eficiente y manejar los residuos en forma apropiada.

Tomando como referencia a EUA, la fracción de aluminio suministrado por la chatarra para cubrir la demanda pasó del 5% en el periodo de 1950-1974 al 20% en 1988, de este porcentaje, la mitad aproximadamente proviene de chatarra vieja, esto es, productos que han salido de servicio.

Se estima que existe un comportamiento similar en México, especialmente desde que ya no se produce aluminio primario. Si se examina esta situación para nuestro país desde tres perspectivas: energética, tecnológica y socio-económicamente, se observa lo siguiente⁽¹⁾:

Desde el punto de vista energético, es conveniente utilizar chatarra de aluminio porque el consumo de energía para producir una pieza es de solo el 5% con respecto a la energía necesaria cuando se parte desde el mineral. Si se analiza desde el punto de vista tecnológico, el avance de procesos de producción y refinación ha ido haciendo posible el tratamiento de chatarras más pobres o con más elementos residuales, pero resta aún trabajo por hacer, especialmente en procesos que minimicen el impacto hacia el medio ambiente y en las operaciones de clasificación y separación de chatarra.

En tercer termino, si se aproxima el asunto desde el punto de vista socioeconómico, queda mucho por avanzar. Aún cuando se cuenta con centros naturales de acopio de chatarra, existen variadas alternativas de manejar e incrementar la recuperación de metal, pero que deberán contar con mayor participación del binomio sociedad-gobierno, así como con el interés del consumidor industrial de la chatarra

2.1. CLASIFICACIÓN DE LA CHATARRA.

Por convención se consideran tres tipos generales o definiciones de chatarra⁽¹⁾⁽³⁾:

1. Chatarra interna, es la que se genera dentro de las plantas de producción, tales como lingotes descartados, alimentadores, cortes, material de rechazo, etc. y que normalmente se recicla en la planta y rara vez aparece en las estadísticas.
2. Chatarra nueva, es aquella producida por los usuarios de metal semiterminado e incluye limaduras, rebabas, perforaciones, recortes y material terminado rechazado.
3. Chatarra vieja, llamada también obsoleta que es la generada por los productos que han completado su vida útil tales como latas de bebidas y comidas, automóviles, carcazas, radiadores, cables, etc.

Hasta ahora en México existen los tipos de chatarra mostrados en la tabla 1. Pero debido a que el reciclaje de este metal toma cada vez mayor fuerza y los requerimientos de calidad tienden a ser más específicos se debe establecer una clasificación más detallada de la chatarra en nuestro país, contando con la participación de los industriales de la chatarra, de los consumidores de la chatarra y de instituciones especializadas tales como el IMEDAL (Instituto Mexicano del Aluminio).

TIPO DE CHATARRA	OBSERVACIONES
Cable	Chapeado, sin centro de acero
Perfil de prensa	
Perfil de patio	
Delgado	De prensa o troquel, utensilio
Grueso industrial	Piezas automotrices (Industrial)
Grueso patio	Piezas automotrices (Deshuesaderos)
Bote	
Rebaba	
Revuelto	
Escorias	

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE CHATARRA DE ALUMINIO EN MÉXICO.

Composición de la chatarra.

La composición de la chatarra puede aproximarse de dos maneras⁽¹⁾:

1. La primera corresponde a la composición de la aleación. Los límites máximos de elementos impurificantes o aleantes están bien definidos, según el uso que vaya a darse a la aleación producida, por ejemplo los mostrados en la tabla 2.
2. La segunda, la constituye la composición en masa de las placas, o montones de chatarra. Esta puede determinarse en general al tener el metal fundido.

ELEMENTO ALEANTE	ESPECIFICACIÓN DESEADA (% en peso)	
	FUNDIDO	LAMINADO
Si	1.50	0.30
Fe	0.65	0.70
Cu	1.50	0.25
Mn	0.30	0.30
Mg	0.30	0.30
Cr	0.05	0.05
Zn	1.50	0.25
Pb	0.05	0.02
Sn	0.05	0.02
Otros	0.12	0.12
Al	La diferencia	La diferencia

TABLA 2. LIMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Métodos tradicionales de acopio.

Las formas de asegurarse chatarra nueva son bien conocidas por los fundidores. Una de ellas es acercarse a las compañías manufactureras de partes, son de especial importancia las automotrices, y contarán con una fuente más o menos segura de suministro.

La chatarra vieja cuenta por su parte con centros naturales de acopio: los comerciantes de chatarra. Estos llevan a cabo una buena parte del trabajo sucio, que consiste en reunir todos los artículos de deshecho, además de preclasificarlos. Para que este trabajo sea de mayor utilidad hacia el consumidor de metal, se han realizado esfuerzos conjuntos entre al menos una empresa y sus proveedores de chatarra.

Además de los modos y fuentes de aluminio descritos anteriormente, existen otros. Entre estos se cuentan los desechos de las ciudades, los cuales se estima que contienen alrededor de 0.5% de aluminio. Estos pueden atacarse en 2 formas⁽¹⁾:

a) Por medio del procesamiento integral de la basura.

b) Por medio de una mayor clasificación en el origen, es decir en los hogares.

Otro modo alternativo son los empaques que constituyen el 18% del total. Para que estos puedan cerrar el ciclo, la industria del aluminio secundario debe encauzar las gestiones para que se desarrolle la ruta que lleve los empaques (al igual que las latas) desde las manos del ciudadano hasta el fundidor, una ruta que puede ser llamada la infraestructura del reciclado. El desarrollo de esta infraestructura requiere un contacto directo con cada eslabón, desde las comunidades y fuentes de empaques y latas a través de procesadores intermedios hasta alcanzar el mercado final.

Por lo que a las latas se refiere existen 3 puntos que aún pueden ser abordados.

El primero es la forma de preparación de las lata. Los comerciantes de chatarra deberán tornarse cada vez más en procesadores para ofrecer a los fundidores materia prima más limpia, como sucede ya en el caso de las latas de acero en EUA. El segundo punto lo constituyen las tendencias futuras hacia el incremento en el uso de los envases para comida. utilizan una aleación distinta y además contendrán más materia orgánica adherida, incluyendo las etiquetas de papel. Finalmente, en la fusión de latas y materiales de desecho de baja densidad, aun resta por generalizar más el uso de sistemas que permitan su mejor alimentación y por lo tanto su aprovechamiento.

Para que en el procesamiento de aluminio secundario se cumplan los objetivos de máxima recuperación, especificaciones químicas, protección al medio ambiente y economía de la operación es necesario un procesamiento de la chatarra como el mostrado en la figura 1.

Este procesamiento se refiere a las etapas previas a la fusión, lo cual incluye el acopio, la selección o clasificación física y los métodos mecánicos de tratamiento de chatarra.

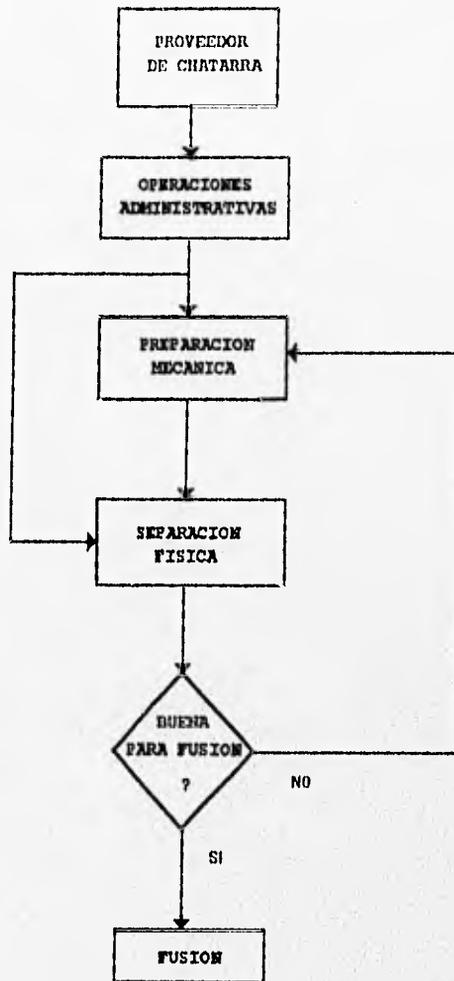


FIGURA 1. ESQUEMA DE PROCESAMIENTO DE CHATARRA DE ALUMINIO

3. FUNDAMENTOS

3.1 IMPUREZAS COMUNES EN LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Existen tres tipos de impurezas que se encuentran asociadas con las aleaciones de aluminio⁽⁴⁾: hidrógeno disuelto, metales alcalinos o alcalino térreos, e inclusiones metálicas, cada uno de estos tipos de impurezas causa considerables problemas o deficiencias en la fabricación del producto final de aluminio, debido a que afectan directamente a las propiedades físicas de la aleación.

A continuación se hablará de las principales impurezas así como también de algunos de sus efectos sobre las aleaciones de aluminio.

Hidrógeno disuelto.

El hidrógeno es el único gas que es significativamente soluble en aluminio líquido. Como se muestra en la figura 2, este hidrógeno es totalmente soluble en aluminio fundido y prácticamente insoluble en aluminio sólido. La solubilidad depende en gran medida de la temperatura.

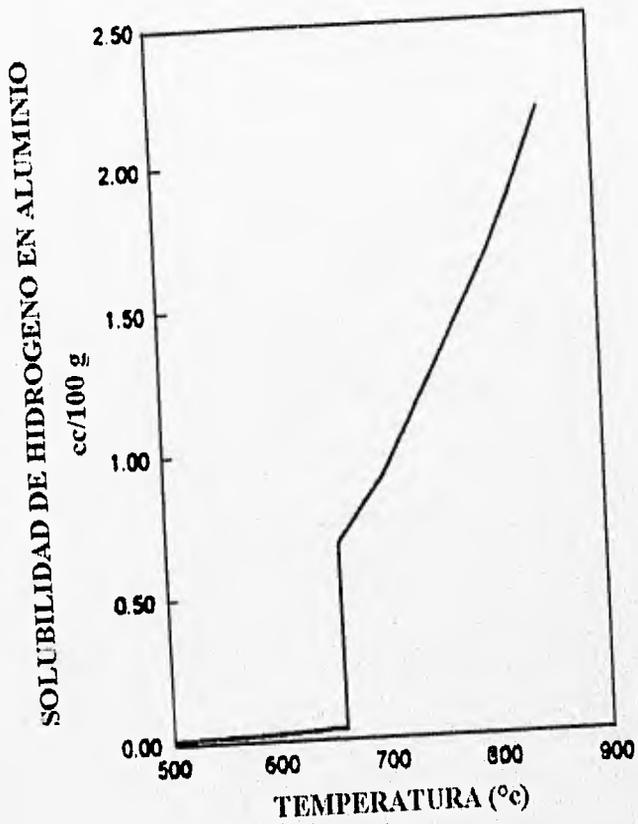
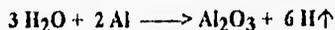
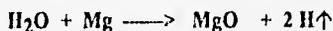


FIGURA 2. HIDRÓGENO DISUELTO EN ALUMINIO LÍQUIDO.

El hidrógeno se puede introducir dentro del aluminio por diversas rutas, la fuente más común es la reacción del aluminio con el vapor de agua como se muestra en siguiente reacción.



El agua y/o su vapor se pueden introducir al metal líquido de muchas maneras, incluyendo: humedad en el medio ambiente, productos de combustión, agua en materiales refractarios, arena en verde en la colada o películas de óxidos hidratados. El magnesio contenido en las aleaciones de aluminio puede ser propenso a acelerar la disolución de hidrógeno debido a una segunda reacción con el agua para formar hidrógeno.



Además el Mg, Na o Li contenidos dentro de la aleación pueden llegar a alterar la película protectora de óxido superficial y facilitar la penetración del hidrógeno a el aluminio.

Cuando el aluminio líquido se enfría, la solubilidad del hidrógeno disuelto decrece y debido a que el aluminio fundido posteriormente solidifica, esta transformación de fase ocasiona que la solubilidad del hidrógeno baje, logrando que en algunos puntos se rebase el límite de saturación y el hidrógeno aparezca como gas formando burbujas, la formación de estas burbujas son la causa de la aparición de porosidades (sopladuras) dentro de las piezas de aluminio. Las porosidades formadas durante la solidificación pueden llegar a disminuir las propiedades mecánicas de un producto de colada, ya que tales porosidades representan discontinuidad de la materia. En la figura 3 se muestra efecto del contenido de hidrógeno sobre la resistencia a la tensión de una aleación de aluminio directamente de colada

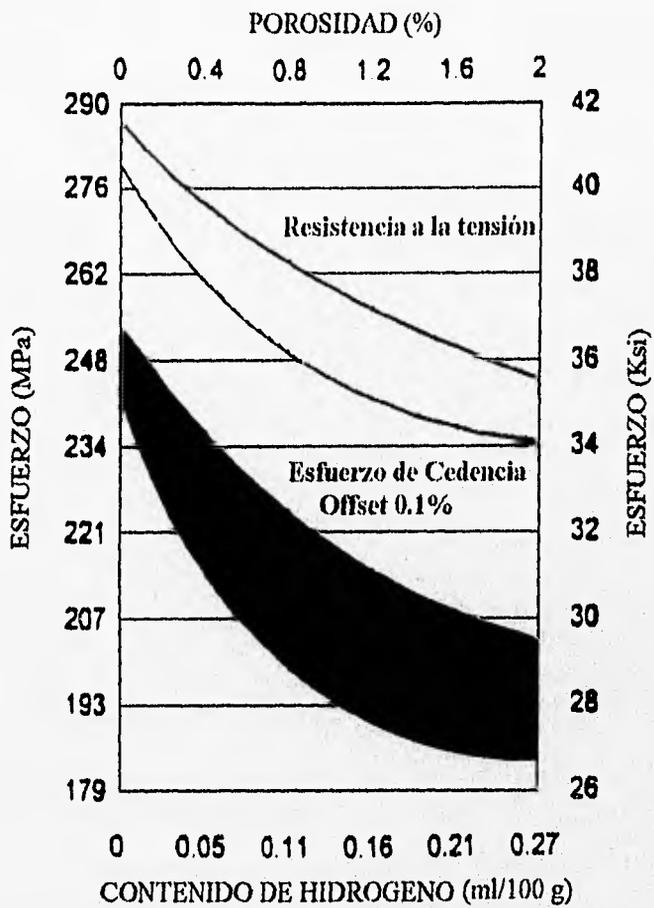


FIGURA 3. RESISTENCIA A LA TENSION VS. % DE HIDROGENO.

Metales alcalinos o alcalinoterreos.

El aluminio es un excelente solvente de muchos metales, especialmente cuando estos se encuentran en pequeñas cantidades.

También el aluminio metálico es altamente reactivo y reduce a muchos compuestos metálicos. Las pocas excepciones son los metales alcalinos o alcalinoterreos tales como el Li, Na, K, Mg y Ca. Estos metales deben ser removidos del aluminio fundido por reacciones con compuestos que contengan cloro u oxígeno. Esta es la forma más viable para su eliminación (cabe señalar que esta no es fácil).

Debido a los graves problemas que ocasiona su presencia estos metales son generalmente evitados en las aleaciones de aluminio.

Sodio.

La presencia de pequeñas cantidades de sodio en aleaciones de aluminio trabajado no presentan cambios significativos en las propiedades mecánicas a temperatura normal, sin embargo esta situación cambia a elevadas temperaturas dado que concentraciones bajas sodio (del orden de 0.01%) pueden llegar a causar un defecto conocido como shortness, especialmente en aleaciones de alto magnesio, el shortness, se manifiesta durante el rolado en caliente produciendo fracturas o agrietamientos excesivos y en casos extremos, causando que el lingote se llegue a fracturar completamente. Además el Na disminuye también la resistencia a la corrosión de las aleaciones de aluminio.

Litio.

La presencia de Li en pequeñas cantidades acelera en gran medida la rapidez de oxidación del aluminio. A niveles de menos de 5 ppm, el litio puede causar un problema conocido como corrosión azul, el cual es una leve corrosión de la superficie del aluminio en condiciones de humedad.

Calcio.

El calcio puede entrar en la aleación fundida debido a la reacción de compuestos de óxido de calcio, tales como carbonato de calcio. El calcio disminuye el tiempo de vida útil de

las aleaciones de Al-Mg-Si, debido a que tiende a formar el compuesto CaSi_2 , el cual presenta una solubilidad muy baja en aluminio. Este compuesto es utilizado en algunas ocasiones para remover al Si, principalmente cuando se requiere aluminio grado conductor.

Inclusiones no metálicas.

Una lista de las inclusiones más comunes en el aluminio se presentan en la tabla 3.

TIPO DE INCLUSIÓN	FORMULA QUÍMICA	FORMA	DENSIDAD (g/cm ³)	RANGO DE TAMAÑO (micrones)
Alumina	Al_2O_3	Natas o partículas	3.97	0.2-5000
Magnesia	MgO	Natas o partículas	3.58	0.1- 5000
Espínula	MgAl_2O_4	Natas o partículas	3.6	0.1- 5000
Sílica	SiO_2	Partículas	2.66	0.5- 7
Cloruros	Varios	Partículas	1.98-2.16	0.1- 5
Fluoruros	Varios	Partículas	1.98- 2.16	0.1- 5
Carburo de Aluminio	Al_4C_3	Partículas	2.36	0.5- 25
Nitruro de Aluminio	AlN	Natas o partículas	3.26	10- 50
Diboruro de Titanio	TlB_2	Partículas aglomeradas	4.5	1- 30

TABLA 3. INCLUSIONES COMUNES EN LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.

Los efectos de las inclusiones pueden ser muy considerables y usualmente dependen de el tamaño de la inclusión en relación a el grosor de el producto, así como también de la composición química de la inclusión. Las inclusiones pueden causar pequeños huecos en paredes delgadas tales como las latas y hojas de metal delgado. Así como también vacíos o discontinuidades en las placas y pueden causar ralladuras o decoloramiento sobre la superficie del metal laminado o extruido. En algunas ocasiones se debe incrementar el uso de herramientas o equipos debido a la extrema dureza de algunas inclusiones.

Al igual que los poros con hidrógeno atrapado o micro porosidad por contracción, las inclusiones pueden actuar como un punto potencial de iniciación de una falla o fractura, además las inclusiones proveen sitios de nucleación de hidrógeno

De todas las impurezas antes mencionadas, una de las principales que se desean eliminar es el magnesio debido a los graves problemas que ocasiona su presencia⁽¹⁵⁾, por ejemplo, para las aleaciones de colada de la familia Al-Si designada por la serie 300, el contenido de Mg es deliberadamente bajo, con el fin de evitar la formación de compuestos intermetálicos fragilizantes de Mg-Si, los cuales causan fragilidad en caliente durante los procesos de colada y problemas con el diseño subsecuente.

Al reciclarse estas aleaciones no presentan ningún problema, sin embargo las aleaciones usadas en construcciones, estructuras arquitectónicas, extrusiones, latas y una variedad de otros productos que pueden ser reciclados, todos contienen niveles elevados de magnesio, que van de 0.4 a 1.5%, por lo que al ser fundidas nuevamente dan como resultado una aleación con un contenido elevado de Mg lo cual imposibilita su uso directo, teniéndose que remover previamente este Mg; para ello se han enfocado muchos esfuerzos en años recientes y se han desarrollado procesos industriales. La manera más conveniente de eliminarlo es en forma de cloruro, el material clorurante se puede agregar en dos formas: en forma de compuestos sólidos o inyectado y en forma gaseosa. En esta última manera es como se ha adoptado más; se han realizado diversos intentos por eliminarlo usando otro tipo de halógeno, pero hasta ahora sigue siendo el cloro el más conveniente.

4. FUNDENTES

Cuando se funde aluminio deberá usarse algún fundente sólido debido a que este metal al igual que sus aleaciones tienden rápidamente a formar una capa de óxido (alumina principalmente) sobre toda la superficie expuesta a una atmósfera que contenga oxígeno. Los elementos aleantes presentes en el aluminio, como el Mg también se oxidan rápidamente para formar sus respectivos óxidos.

Esta oxidación se acelera al elevarse la temperatura y las partículas finas de óxido se encuentran remanentes dentro del aluminio líquido.

Aunque los fundentes ofrecen distintos tipos para diversos propósitos de aplicación, estos son aplicados principalmente para evitar la oxidación del Al. Los fundentes retardan la oxidación, aceleran la remoción de inclusiones, facilitan la recuperación del Al metálico de la escoria y ayudan a limpiar la acumulación de óxidos de los hornos⁽¹⁴⁾.

4.1 APLICACIONES.

Fundentes protectores.

Este tipo de fundentes es usado particularmente en operaciones de fusión que presentan condiciones elevadamente oxidantes, tales como temperaturas arriba de 775 °C, como es el caso de la fusión de fragmentos pequeños o finos (rebabas), o fusión de aleaciones que contengan demasiado Mg (2% en peso).

Fundentes desescorificantes.

En algunas ocasiones la escoria contiene más del 80% del metal suspendido y menos del 20% de óxido. Las escorias tratadas con estos fundentes cambian esta situación disminuyendo su contenido de aluminio metálico.

Para acelerar el proceso, estos fundentes contienen compuestos exotérmicos que desprenden oxígeno y generan calor por la combustión de una porción de aluminio metálico en la escoria. Estos fundentes son añadidos por peso, 0.2 - 1.0% de metal cargado o por área superficial fundida. 2.5 Kg/m².

Fundentes limpiadores.

Algunas veces llegan a formarse dentro del horno o crisol unas estructuras constituidas por composites de aluminio metálico y óxido que continuamente aumentan de tamaño y llegan a formar una fase dura de Al_2O_3 , la cual es una fuente de partículas de óxidos que provocan sitios de extrema dureza en la colada, en casos extremos esta estructura puede reducir la capacidad del horno, con el uso de fundentes limpiadores se evita este serio problema debido a que el fúndente reacciona con el aluminio metálico que se encuentra presente en dichas estructuras, provocando que estas tiendan a desaparecer.

Fundentes desgasificantes.

Estos fundentes remueven el hidrógeno e inclusiones del metal, aunque la remoción del hidrógeno no es tan efectiva como cuando se usan gases inertes, la remoción de las impurezas sí se lleva a cabo efectivamente.

4.2 COMPOSICIONES

Los fundentes predominantemente son mezclas de sales de cloro y flúor con aditivos para dar propiedades especiales, además posteriormente son añadidos tintes para diferenciar los productos por el color.

Muchas combinaciones de ingredientes son posibles, los cuales, imparten diferentes propiedades de fluidez, mojabilidad y reactividad.

Un factor importante a considerar es la temperatura de fusión del fúndente o rango de temperatura de reacción. Una capa de fúndente deberá ser líquida a temperaturas de fusión del material que se este trabajando.

Muchos fundentes son una mezcla de KCl y NaCl. Estas sales forman un eutéctico, con 44% y 56% respectivamente y funde alrededor de 665 °C de temperatura. Otro ingrediente común en los fundentes es el NaF, el cual forma un eutéctico ternario con KCl y NaCl y desciende a 607 °C su punto de fusión. Una capa común de fúndente contiene alrededor de 47.5% KCl, 47.5% NaCl y 5% NaF. Otros fundentes están basados en $MgCl_2$

y KCl, formando un eutéctico de bajo punto de fusión 425 °C, o carnalita $MgCl_2 \cdot KCl$, el cual funde a una temperatura ligeramente elevada 485 °C.

Estos fundentes tienen elevada fluidez y pueden formar capas delgadas sobre la superficie fundida. En adición, el $MgCl_2$, es usado como un agente fluidizante. Sin embargo este es un ingrediente expansivo y es usado primariamente en fundentes libres de sodio y para aleaciones que contengan más de 2% de Mg.

Las sales alcalinas de fluoruro disminuyen la tensión superficial entre el fundente líquido y el aluminio fundido, así como entre el fundente líquido y los óxidos. Las sales de cloro presentan esta propiedad en menor grado. La mojabilidad favorece la separación de las inclusiones de óxido del aluminio fundido, y del aluminio metálico de la escoria. Además, las sales alcalinas de fluoruro limitan la solubilidad de los óxidos.

Muchos fundentes contienen sales de fluoruro, tales como la criolita (Na_3AlF_6), fluoruro de calcio (CaF_2) y silicofluoruro de sodio (Na_2SiF_6), en cantidades superiores a 20%, desafortunadamente los elevados puntos de fusión de estas sales hacen que su uso sea muy limitado⁽¹⁴⁾.

Proceso ALCOA.

Una de las grandes dificultades que se presentan al reciclar las latas de aluminio, radica en que se utilizan 2 tipos de aleaciones para su fabricación, una para la tapa y otra para el cuerpo, estas aleaciones se muestran en la tabla 5, esto provoca que al momento de fundirse la aleación resultante sea una mezcla de ambas. Esta aleación resultante no se puede utilizar directamente para fabricar otras latas a partir de ella y se necesita agregar nuevamente aluminio primario además de elementos aleantes para obtener una aleación utilizable, estas adiciones hacen que el costo del proceso se eleve y la rentabilidad descienda.

ALEACIÓN	% Mg	% Mn	% Si (máx)	% Fe (máx)	RANGO DE FUSIÓN °C
AA5182	4.0 - 5.0	0.20 - 0.50	0.20	0.35	580 - 636
AA3004	0.8 - 1.3	1.0 - 1.5	0.30	0.70	629 - 654

TABLA 5. COMPOSICIONES DE ALEACIONES DE LATAS PARA BEBIDAS.

El proceso ALCOA ofrece una opción para solucionar este inconveniente. Este proceso se basa en la diferencia de temperaturas de fusión existentes entre las dos aleaciones utilizadas para fabricar las latas⁽⁷⁾.

Primeramente las pacas de latas son sujetas a un calentamiento bajo condiciones controladas de atmósfera a 550 °C para remover el recubrimiento orgánico. A continuación son pasadas por un molino de martillos para desmenuzar las pacas y posteriormente alimentarse a un horno rotatorio. Aquí se efectúa la parte medular del proceso al calentarse las latas hasta una temperatura de fusión incipiente (580-640 °C) de una de las partes de la lata. Al ir avanzando la chatarra dentro del horno se fragilizan y se van fragmentando en tamaños pequeños.

El horno descarga hacia un sistema de cribado en el cual son separadas las partículas de acuerdo al tamaño. Las menores contienen mayor cantidad de magnesio y las mayores una menor cantidad de magnesio. Además los finos contienen la mayor parte de las impurezas. De esta manera se pueden fundir por separado cada fracción para producir, con ajustes menores de composición, las partes para latas nuevas.

5. TÉCNICA DE FUSIÓN.

El principal objetivo de efectuar la fusión de un metal o aleación, es obtener un metal líquido a una temperatura adecuada, libre de gases disueltos que lo pudieran perjudicar, libre también de óxidos, escorias e inclusiones que pudieran alterar sus propiedades físicas y/o mecánicas, esta fusión además se debe realizar de manera rápida sin elevar demasiado la temperatura de trabajo o de lo contrario se generarán altas pérdidas de elementos de aleación, lo cual se reflejará en bajas recuperaciones o rendimientos, es decir otro objetivo de una adecuada fusión es el de obtener un alto rendimiento (eficiencia). Para poder lograr los anteriores objetivos se hace uso de una herramienta de fundición denominada técnica de fusión

Se puede definir a la técnica de fusión como la secuencia de pasos lógicos técnicos que habría que efectuar durante la fusión de materiales metálicos para obtener un metal líquido libre de gases disueltos, óxidos, escorias, inclusiones, a una temperatura adecuada y con altos rendimientos. Además este metal líquido, dentro de la técnica de fusión, debe recibir tratamientos para adecuarlo a las necesidades de microestructura y/o propiedades mecánicas requeridas a la pieza de fundición.

La técnica de fusión se ve influenciada por varios aspectos inherentes a los materiales y procesos usados durante la fusión de metales y aleaciones, estos aspectos son los siguientes:

Con respecto a los medios para efectuar la fusión:

- Tipo de unidad de fusión

Con respecto a los materiales metálicos de carga:

- Tipo de Materia prima
- Forma de Materia prima
- Cantidad de Materia prima

Con respecto a el proceso:

- Balance o cálculo de carga
- Secuencia de carga
- Temperatura de trabajo
- Calidad del producto deseado

Con respecto a aspectos Metalúrgicos:

- Disolución o no de elementos dentro de la aleación base
- Disolución de materiales de ajuste de carga o de elementos de aleación
- Temperaturas de fusión de elementos puros, aleaciones y materiales de ajuste
- Fundentes
- Tratamientos del metal líquido

Todos estos aspectos deben ser observados y cuidados para efectuar una fusión adecuada de cualquier material metálico

Tipo de unidad de fusión

Al efectuar una fusión es importante considerar el tipo de unidad de fusión (horno) a utilizar, ya que el metal líquido se verá influenciado en su calidad obtenida por el tipo de horno.

Dentro de las unidades de fusión usadas en fundición, se tiene la siguiente clasificación:

- a) Hornos en los cuales, la carga metálica, los combustibles y los productos de combustión están en contacto entre si durante el proceso de fusión, por ejemplo el horno de cubilote en el que se obtiene una alta eficiencia térmica, sin embargo debido a que combustibles y productos de combustión están en contacto con la carga metálica sólida inicialmente, y posteriormente líquida, el metal líquido obtenido en estas unidades puede resultar con bajos rendimientos de elementos de aleación, es decir generación de grandes cantidades de óxidos.
- b) Hornos en los que los productos de combustión y la carga metálica están en contacto entre si, un ejemplo de este tipo de hornos es el de Reverbero. Este horno tiene versatilidad con respecto a capacidades de fusión, sin embargo el producto obtenido es un material con bajo índice de recuperación y seriamente dañado por los gases producidos durante la combustión y también por la formación de óxidos y escorias
- c) Hornos en los cuales los combustibles y los productos de combustión no están en contacto con la carga metálica, ejemplo de estos es el horno de Crisol. Este horno tiene la más baja eficiencia térmica, sin embargo el producto obtenido tendrá el más alto

rendimiento, poca cantidad de gases disueltos y baja formación de óxidos y escorias. Sin embargo su capacidad de fusión es limitada.

- d) **Hornos Eléctricos.** Este tipo de hornos aprovechan la electricidad para generar calor y llevar a cabo la fusión de los metales y aleaciones. Esta fusión es muy limpia y se puede obtener un gran rendimiento y alta calidad del producto obtenido. Ejemplos de este tipo de hornos usados en los procesos de fundición son: Horno de Inducción, Horno eléctrico de crisol, Horno de arco eléctrico directo o indirecto.

Tipo de materia prima

La materia prima metálica usada como carga a los hornos de fusión para obtener aleaciones, se puede clasificar a grandes rasgos de la manera siguiente:

- Chatarras
- Retornos
- Arrabios
- Lingotes de metales puros y/o aleaciones
- Ferroaleaciones
- Aleaciones liga o madres

La combinación de algunas o todas estas materias primas metálicas producirán una aleación líquida con la composición química deseada calculada a través de un balance de cargas.

Forma de la materia prima

La forma física de la materia prima metálica es importante debido a que la calidad del producto final se verá influenciada por este aspecto. La materia prima que se usará en fundición tiene las siguientes formas:

- **Rebabas de procesos maquinado.** En cuyo caso el principal problema es que tiene una gran área superficial que genera una gran oxidación y por tanto bajas recuperaciones. Además de que están contaminadas con grasas, aceites y rebabas de materiales distintos; el primer aspecto genera gases no deseados que podrían quedar disueltos en el metal líquido afectando las propiedades mecánicas, en el segundo aspecto el producto

podría salir de especificaciones de composición química. Para evitar el problema de gran cantidad de superficie expuesta y por tanto bajo rendimiento se recomienda la compactación de la rebaba, además de una limpieza y cuando sea factible una separación magnética para separar la rebaba de materiales extraños tales como cobre, acero o fundición ferrosa.

- **Recortes de productos de procesos metalúrgicos de conformado.** Esta materia prima tiene diferentes formas, pero la que predomina principalmente es la de láminas en grandes trozos con puntas agudas que pueden originar daños a los materiales de los crisoles, aunque también contiene ciertas cantidades de aceites de los procesos de conformado. Al igual que en el caso anterior se tiene el problema de una gran superficie expuesta a la oxidación, para esto lo recomendable es cortar y/o compactar a esta materia prima.
- **Piezas automotrices dadas de baja de servicio.** Este tipo de materia prima tiene como principal ventaja que la composición química está controlada, la desventaja es que está contaminada con grasas y aceites, que durante la fusión generan gases que perjudican a la calidad del producto final.
- **Productos metálicos que han llegado al fin de su vida útil.** Dentro de este rubro se tiene una gran cantidad de productos, por lo que es difícil controlar la composición química. Por otro lado por ser de diferentes fuentes, se tienen también diferentes contaminantes que ocasionan problemas únicos durante la fusión. También en este caso se recomienda empacar el producto para poder realizar la fusión de una manera más eficiente.
- **Retornos de los procesos de fundición,** en este caso se consideran a los accesorios tales como alimentadores, sistemas de colada y piezas rechazadas por defectos. El principal problema de esta materia prima es la arena de moldeo adherida, la que puede ocasionar consumo de energía innecesario e inclusiones dentro de las piezas, por lo que es recomendable limpiar esta arena adherida antes de introducir los retornos a las unidades de fusión.

Se considera que el resto de materia prima metálica, lingotes arrabios, Ferroaleaciones y aleaciones liga, son materiales limpios y de composición química controlada por lo que ocasionarían problemas mínimos con respecto a rendimientos y calidad del metal fundido.

Cantidad de Materia prima.

Este aspecto es importante, sobre todo cuando se trata el aspecto de la secuencia de carga al horno. Sin embargo, cabe mencionar que es importante asegurarse una fuente segura de aprovisionamiento que garantice una cierta calidad y una cantidad periódica, ya que el tipo de aleación y la velocidad de producción podría verse afectada si no se tiene una fuente segura de aprovisionamiento.

Balance o cálculo de carga.

Este rubro sirve para que a través de cálculos se determine las cantidades de materias primas metálicas necesarias para obtener un producto líquido, dentro de un horno de fusión, con la composición química deseada. Este cálculo es importante, ya que si no se efectúa correctamente puede dar origen a productos fuera de especificaciones. Este balance de carga debe tomar en cuenta a los rendimientos específicos de cada elemento de aleación, las condiciones de operación de la unidad de fusión y los tratamientos del metal líquido que se deban de efectuar. Por último el cálculo de carga selecciona directamente a las materias primas que se deban de cargar al horno de fusión.

Secuencia de carga.

Uno de los parámetros para obtener un metal líquido, con altos rendimientos, pocos gases disueltos, baja generación de óxidos y escorias y a una buena velocidad de producción es la secuencia de carga. Esta secuencia se debe diseñar en función del tipo de materia prima, cantidad relativa de cada materia prima, puntos de fusión de la materia prima, índices de disolución de aleaciones y/o elementos de ajuste de carga. Analizando detenidamente estos aspectos se puede encontrar una secuencia lógica que permita obtener un metal de alta calidad con un buen rendimiento y a una buena velocidad de producción, resultando un proceso mas eficiente.

Temperatura de trabajo.

La temperatura de trabajo durante la fusión de una aleación se define por su punto de fusión, por la magnitud de las secciones de las piezas a colar, por los tiempos que se usen para efectuar los tratamientos requeridos del metal líquido y por los tiempos perdidos en el

traslado del metal hacia la zona de vaciado, cuando esto sea pertinente. Una temperatura de trabajo baja conducirá a piezas de fundición incompletas y a retrasos en la velocidad de fusión, temperaturas altas de trabajo significan: gran cantidad de gases disueltos, gran cantidad de elementos oxidados y desperdicio de energía, en otras palabras un producto defectuoso que para corregirlo necesitará una buena cantidad de fundentes. Por todo lo anterior es de suma importancia tener un adecuado control de la temperatura del baño líquido durante todo el proceso de fusión y con ello poder evitar toda la serie de problemas que se puedan presentar.

Calidad del producto deseado.

La técnica de fusión de una aleación se puede alterar debido a las exigencias de calidad de un determinado producto. Puede obligar a cambiar la unidad de fusión, a usar determinados tipos de fundentes, a usar técnicas especiales de protección y tratamiento del metal líquido, pero si el producto paga estas exigencias, será necesario hacerlo.

Disolución o no de elementos dentro de la aleación base.

Uno de los aspectos básicos para la fabricación de aleaciones es la solubilidad de elementos en la aleación base. Esta solubilidad se puede determinar por medio de la ayuda de los diagramas de fases y/o por medio de las Reglas de Hume-Rothery. Como ejemplo si se quiere alear hierro en aluminio, el punto de fusión del Aluminio es de 660 °C y el del hierro es de 1550 °C, en este caso la tendencia natural sería la de elevar la temperatura de trabajo del horno a una temperatura superior a 1550 °C. Pero debido a que el hierro se disuelve fácilmente en el aluminio, no es necesario hacerlo, ya que trabajando a temperaturas ligeramente superiores a la de fusión del aluminio se puede fabricar aleaciones Al-Fe, sin que se tenga que gastar grandes cantidades de energía ni perjudicar a los crisoles.

Disolución de materiales de ajuste de carga o de elementos de aleación.

Este caso es similar al del punto anterior, nada más que referente a aleaciones liga o Ferroaleaciones. Este tipo de materias primas nos sirven para poder alear elementos de alto punto de fusión que tengan baja solubilidad en la aleación base. Estas materias de ajuste de carga se fabrican, generalmente, con cantidades altas del elemento a alear y como base el elemento que también es base de la aleación a fabricar, además de ser fácilmente

fragmentables para poder disponer de cualquier cantidad que requiera el proceso de ajuste de la carga.

Temperaturas de fusión de elementos puros, aleaciones y materiales de ajuste.

Las temperaturas de fusión son importantes, principalmente para aquellos materiales de baja solubilidad en la aleación base, ya que pueden obligar a elevar la temperatura del proceso y por tanto tener altas mermas y grandes cantidades de gases disueltos, óxidos y escorias. Es recomendable, por tanto, cuando se tenga este tipo de problemas usar aleaciones liga o Ferroaleaciones,

Fundentes.

Este aspecto se trató en el capítulo correspondiente,

Tratamientos del metal líquido.

Este es un aspecto que debe tener gran consideración en el diseño de la técnica de fusión, ya que aunado a todos los rubros anteriores, proporcionará la calidad requerida del metal, es decir microestructura y propiedades mecánicas.

El diseño de la técnica de fusión comprende los siguientes aspectos generales:

- 1. Balance de carga.** En donde se efectúa el cálculo de las materias que se cargarán al horno para obtener una composición química deseada.
- 2. Preparación de la carga.** En donde de acuerdo al tipo y calidad de materia prima, se preparará a la carga para que se introduzca al horno con un tamaño adecuado, libre de grasas y aceites, libre de productos de corrosión y precalentada para evitar choques térmicos en los materiales de los crisoles.
- 3. Acondicionamiento del horno.** Dependiendo del tipo de horno se debe efectuar un acondicionamiento para evitar perjuicios a los crisoles. Como ejemplo al horno de crisol, en el inicio de trabajo (frío) se le debe precalentar en vacío para evitar el desgaste del crisol.

4. **Secuencia de carga.** Esta parte es importante, por que de esta depende la velocidad de fusión, la calidad del producto y las recuperaciones. Como se menciono anteriormente, esta secuencia esta determinada por el tipo y cantidad relativa de materia prima, puntos de fusión, solubilidades, etc.
5. **Consecución de la temperatura de trabajo.** Esta temperatura esta de acuerdo a los pasos que haya que efectuar antes de vaciar a moldes.
6. **Desescorificacion.** Evitará la contaminación del baño líquido, por la escoria ya producida, durante el tratamiento del metal líquido.
7. **Tratamiento(s) del metal líquido.** Para asegurar la microestructura y/o propiedades mecánicas.
8. **Desescorificacion.** Evitará que la escoria producida se introduzca a los moldes.
9. **Consecución de la temperatura de colada.** Esta temperatura estará de acuerdo al tipo de aleación y a las secciones de piezas.
10. **Vaciado a moldes.**

No se debe olvidar que la fusión de materiales metálicos es un proceso y que por tanto se debe controlar, principalmente desde dos puntos de vista: el aspecto de control de temperaturas y el control metalúrgico.

El control de temperaturas se hará en cada paso pertinente a través de dispositivos de medición y/o control de temperaturas, principalmente pirómetros ópticos y termopares.

El control metalúrgico se efectuará de acuerdo al problema específico de cada tipo de aleación, por ejemplo prueba de la cuña para controlar la fabricación de fundiciones grises, etc.

6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Como se mencionó en el capítulo referente a la técnica de fusión, para poder obtener un producto metálico de buena calidad con una determinada composición química a una buena velocidad de producción y además con una buena recuperación, se deben cuidar cada uno de los factores siguientes:

Con respecto a los medios para efectuar la fusión:

- Tipo de unidad de fusión

Con respecto a los materiales metálicos de carga:

- Tipo de Materia prima
- Forma de Materia prima
- Cantidad de Materia prima

Con respecto a el proceso:

- Balance o cálculo de carga
- Secuencia de carga
- Temperatura de trabajo
- Calidad del producto deseado

Con respecto a aspectos Metalúrgicos:

- Disolución o no de elementos dentro de la aleación base
- Disolución de materiales de ajuste de carga o de elementos de aleación
- Temperaturas de fusión de elementos puros, aleaciones y materiales de ajuste
- Fundentes
- Tratamientos del metal líquido

Dado que cada uno de ellos proporcionará una cierta característica al producto final; para este estudio, por tratarse de chatarra y teniendo como principal objetivo alcanzar elevadas recuperaciones (rendimientos), es decir tratar de obtener después de la fusión una cantidad lo más cercana posible a la inicial, no importando por el momento la calidad del producto obtenido, sólo se tomaron en cuenta para las técnicas de fusión los siguientes factores:

- **Tipo de unidad de fusión**
Se utilizó un horno de inducción y un horno de crisol.
- **Tipo de Materia prima**
Se utilizó chatarra de aluminio
- **Forma de Materia prima**
La chatarra de aluminio utilizada fue en forma de lingote y en forma de rebaba
- **Cantidad de Materia prima**
Para el caso de lingotes se utilizó una cantidad de 2 - 3 Kg., y para la rebaba 500 g para cada fusión.
- **Temperatura de trabajo**
Se establecieron las siguientes temperaturas de trabajo: 700, 800 y 900°C
- **Fundentes**
Los fundentes utilizados fueron 2: coverall 78-M y una mezcla de 50% NaCl y 50% KCl.

El estudio se divide en 2 partes: la primera consiste de 4 pruebas realizadas en el horno de inducción y la segunda parte también consiste de 4 pruebas realizadas en esta ocasión en el horno de crisol, a base de gas, que se encuentra en el Laboratorio de Fundición del edificio D de la Facultad de Química.

La finalidad de estas 4 pruebas para ambos casos, es variar la forma de la chatarra; lingote y rebaba, el tipo de fundente; coverall 78-M y una mezcla de 50% NaCl y 50% KCl, las temperaturas de trabajo 700, 800 y 900 °C, para de esta manera poder determinar el efecto que cada una de ellas tiene sobre la técnica de fusión empleada, y esta a su vez sobre la recuperación obtenida para con ello establecer una adecuada técnica de fusión para la chatarra de aluminio así como unas condiciones adecuadas. Todo esto se realizó como antes se mencionó en el horno de crisol y de inducción. Las pruebas se encuentran numeradas y los resultados aparecen en tablas, indicando además de los datos arriba mencionados, todos los demás datos concernientes a la carga y recuperación, como el peso de la carga, la cantidad de fundente agregado, la temperatura de trabajo en cada caso etc.

La recuperación es expresada en % en peso y está determinada por la siguiente ecuación:

$$\%Alr = \frac{Al(f)}{Al(i)} \times 100$$

donde:

%Alr es el porcentaje de aluminio recuperado

Al(f) es el peso de aluminio obtenido después de la fusión

Al(i) es el peso de aluminio inicial (peso de la carga)

EQUIPO

Para éste estudio se utilizó el siguiente equipo:

- -Horno de Inducción
- -Horno de Crisol a base de gas
- -Multímetro
- -Termopar Tipo K
- -Crisol de Grafito
- -Lingoteras de 9 Elementos
- -Lingoteras de un solo elemento
- -Cucharilla para desescorificar
- -Tenazas
- -Guantes de asbesto
- -Bata
- -Casco y careta
- -Botas de seguridad

Así como el siguiente material:

- -Chatarra de aluminio en forma de rebaba
- -Chatarra de aluminio en forma de lingotes
- -Fúndente comercial (Coverall 78-M)
- -Fúndente 50% NaCl, 50% KCl

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

PRUEBA No. 1

En esta prueba la chatarra de aluminio utilizada fue en forma de lingotes y se utilizó un total de 3 Kg aproximadamente (debido a que es difícil tener los 3 Kg exactos por el tamaño de los lingotes), el fundente utilizado fue coverall 78-M (previamente molido y posteriormente secado en la estufa por espacio de tres horas a una temperatura de 150 °C con el fin de eliminar la humedad presente en él y con ello evitar la introducción de hidrógeno producto de esta humedad en el metal fundido) agregándose la cantidad de 150 g en cada corrida, que representa el 5% de la carga, la fusión se llevó a cabo en un horno de inducción y el vaciado se realizó en lingoteras de hierro colado.

Técnica de fusión No. 1

1. **Pesar 3 Kg de chatarra de aluminio aproximadamente**
2. **Preparación de la carga:**
 - Limpieza, esta es muy importante debido a que se trata de chatarra la cual puede contener un sin número de impurezas por lo que se trata de introducirla libre de grasas y aceites, así como de productos de corrosión que pueden contaminar el baño metálico.
 - Precalentamiento, este es necesario para llevar a cabo una fusión más rápida de la carga y evitar choques térmicos en los materiales del crisol, los cuales pueden causar daños y reducir la vida de los crisoles.
3. **Precalentamiento (acondicionamiento) del horno, antes de comenzar con la fusión es sumamente conveniente precalentar el horno para de esta manera alcanzar más rápidamente la temperatura de fusión del material y llevar a cabo el proceso de una forma más eficiente y rápida y al igual que el caso anterior evitar posibles daños a los crisoles.**
4. **Secuencia de carga:**
 - Inicialmente se introduce el 30% del total de la carga (1 Kg aproximadamente), agregando también el 30% del total del fundente (50 g) y esperar a que se funda en su totalidad.
 - Una vez que se haya fundido la carga inicial, se procede a introducir el 50% de la carga restante así como el 50% del fundente restante y se espera a que se funda totalmente.

- En el momento en que se funde completamente la carga anterior, se introduce lo que resta de la carga y del fúndente y se espera hasta su fusión total.
5. Consecución de la temperatura de trabajo
 6. Posteriormente se lleva a cabo la desescrificación y la escoria retirada se deposita en un crisol o lingotera para su posterior tratamiento.
 7. Cuando toda la escoria haya sido retirada, el aluminio líquido se vacía en las lingoteras y cuando este se haya solidificado y enfriado se pesa y el peso se registra en la correspondiente tabla de resultados.

Esta técnica de fusión se llevó a cabo a las tres temperaturas de trabajo propuestas: 700, 800 y 900 °C, debiéndose repetir un mínimo de tres veces para cada caso como una medida de confiabilidad de los resultados.

Tratamiento de la escoria:

Con el propósito de cumplir con el objetivo de este estudio de alcanzar una alta recuperación, la escoria retirada se somete a un posterior tratamiento que consiste en volver a calentarla en un crisol con una cierta cantidad de carbón vegetal a una temperatura de 800 °C durante 30 minutos con el fin de separar de ella la máxima cantidad posible de aluminio retenido dentro de ella. Lo mismo se realizará con las escorias obtenidas en las siguientes pruebas.

PRUEBA No. 2

Para esta prueba la chatarra de aluminio utilizada fue en forma de lingotes y se utilizó un total de 3 Kg aproximadamente, el fúndente utilizado fue una mezcla de 50% NaCl y 50% KCl previamente molido y secado, agregándose la cantidad de 150 g en cada corrida, la fusión se llevó a cabo en un horno de inducción y el vaciado se realizó en lingoteras de hierro colado.

Técnica de fusión No. 2

1. Pesar 3 Kg de chatarra de aluminio aproximadamente
2. Preparación de la carga:
 - Limpieza, esta es necesaria para desechar algunas impurezas presentes la chatarra de aluminio que pueden llegar a contaminar el baño metálico tales como grasas, aceites y productos de corrosión.
 - Precalentamiento, necesario para llevar a cabo una fusión más rápida de la carga y evitar a la vez choques térmicos en los materiales de los crisoles.
3. Precalentamiento (acondicionamiento) del horno para poder llevar a cabo una fusión más efectiva y también evitar posibles daños a los crisoles.
4. Secuencia de carga:
 - Inicialmente se introduce el 30% del total de la carga (1 Kg aproximadamente), agregando también el 30% del total del fundente (50g) y esperar a que se funda en su totalidad.
 - Una vez que se haya fundido la carga inicial, se procede a introducir el 50% de la carga restante así como el 50% del fundente restante y se espera a que se funda totalmente.
 - En el momento en que se funda completamente la carga anterior, se introduce lo que resta de la carga y del fundente y se espera hasta su fusión total.
5. Consecución de la temperatura de trabajo
6. Posteriormente se lleva a cabo la desescorificación y la escoria retrada se deposita en un crisol o lingotera para su posterior tratamiento.
7. Cuando toda la escoria haya sido retirada, el aluminio líquido se vacía en las lingoteras y cuando este se haya solidificado y enfriado se pesa y ese peso se registra en la correspondiente tabla de resultados.

Esta técnica de fusión se llevó a cabo con las tres temperaturas de trabajo propuestas, es decir, 700, 800 y 900 °C, debiéndose repetir un mínimo de tres veces para cada caso como una medida de confiabilidad de los resultados.

Tratamiento de la escoria:

Para éste caso así como para los restantes, se aplica el mismo tratamiento que en la prueba No. 1 es decir, la escoria obtenida se calienta en un crisol con un poco de carbón vegetal por espacio de 30 minutos a una temperatura de 800 °C

PRUEBA No. 3

En este ensayo la chatarra de aluminio utilizada fue en forma de rebabas, las cuales fueron obtenidas durante el maquinado de algunas piezas en el torno y el cepillo que se encuentran en el taller mecánico del Departamento de Metalurgia, se utilizó un total de 500 g (debido a lo difícil que es su obtención), el fundente utilizado fue Coverall 78-M (previamente molido y secado), agregándose la cantidad de 16.6 g en cada corrida, para este caso el fundente fue previamente mezclado con la rebaba, de tal manera que al introducir la carga al horno ya va incluido el fundente, la fusión se llevo a cabo en un horno de inducción y el vaclado se realizó en lingoteras de hierro colado.

Técnica de fusión No. 3.

1. Pesar 500 g de rebaba de chatarra de aluminio.
2. Preparación de la carga:
 - Limpieza, esta es muy importante debido a que las rebabas utilizadas se obtuvieron a partir del maquinado de algunas piezas en el torno y el cepillo y por lo tanto pueden fácilmente mezclarse con rebabas de otro material como acero, cobre, etc., las cuales influyen de manera considerable en el proceso y deben ser retiradas en su mayoría, en este caso las rebabas de acero se retiran. por medio de un imán y las de cobre con las manos directamente, cabe mencionar que el aceite que contenían estas partículas no fue posible retirarlo debido a la gran dificultad que esto representa ni tampoco fue posible precalentar la carga.

3. Precalentamiento (acondicionamiento) del horno, antes de comenzar con la fusión es sumamente conveniente precalentar el horno y de esta manera alcanzar más rápidamente la temperatura de fusión del material y llevar a cabo más eficientemente el proceso y a la vez evitar choques térmicos en los materiales del crisol lo cuales pueden llegar a dañarlo.
4. Secuencia de carga:
 - Inicialmente se introduce el 30% del total de la carga la cual previamente se mezcló con el fúndente para lograr una mayor protección de la carga debido a que esta presenta una mayor superficie de contacto con la atmósfera y por lo tanto la oxidación es más rápida, se espera a que se funda en su totalidad.
 - Una vez que se haya fundido la carga inicial, se procede a introducir el 50% de la carga restante.
 - En el momento en que se funda completamente la carga anterior, se introduce lo que resta de la carga y se espera hasta su fusión total.
5. Consecución de la temperatura de trabajo
6. Posteriormente se lleva a cabo la desescorificación y la escoria retirada se deposita en un crisol o lingotera para su posterior tratamiento.
7. Cuando toda la escoria haya sido retirada, el aluminio líquido se vacía en las lingoteras y cuando este se haya solidificado y enfriado se pesa y el peso se registra en la correspondiente tabla de resultados.

Esta técnica de fusión se llevó a cabo con las tres temperaturas de trabajo propuestas, es decir, 700, 800 y 900 °C, debiéndose repetir un mínimo de tres veces para cada caso como una medida de confiabilidad de los resultados.

PRUEBA No. 4

Para este ensayo la chatarra de aluminio utilizada fue en forma de rebabas, utilizándose una cantidad de 500 g en cada fusión, el fúndente utilizado fue una mezcla de 50 % NaCl, 50% KCl (previamente molido y posteriormente secado en estufa por espacio de tres horas a una temperatura de 150 °C), agregándose la cantidad de 16,6 g en cada

corrida, el fúndente en esta ocasión se mezcló previamente con la rebaba, la fusión se llevó a cabo en el horno de inducción y el vaciado se realizó en lingoteras de hierro colado.

Técnica de fusión No. 4

1. Pesar 500 g de chatarra de aluminio aproximadamente

2. Preparación de la carga:

- Limpieza, al igual que en la prueba 3 la materia prima utilizada (rebabas) fue obtenida durante el maquinado de algunas piezas en el torno y cepillo, por lo cual puede fácilmente mezclarse con otro tipo de rebabas presentes en el lugar y traer consigo un sinnúmero de impurezas, es por ello que se debe dar una adecuada limpieza y de esta manera evitar una gran contaminación del baño metálico.

3. Pre calentamiento (acondicionamiento) del horno, antes de comenzar con la fusión es sumamente conveniente precalentar el horno y de esta manera alcanzar más rápidamente la temperatura de fusión del material y llevar a cabo más eficientemente el proceso y evitar a la vez choques térmicos en los materiales del crisol.

4. Secuencia de carga:

- Inicialmente se introduce el 30% del total de la carga, para este caso el fúndente se mezcló previamente con las rebabas, de modo que al introducir la carga ya va incluido el fúndente. Esperar a que se funda totalmente.
- Una vez que se haya fundido la carga inicial, se procede a introducir el 50% de la carga restante y se espera a su fusión total.
- En el momento en que se funda completamente la carga anterior, se introduce lo que resta de la carga y se espera hasta que se funda completamente.

5 Consecución de la temperatura de trabajo

6. Posteriormente se lleva a cabo la des escorificación y la escoria retirada se deposita en un crisol o lingotera para su posterior tratamiento.

7. Cuando toda la escoria haya sido retirada, el aluminio líquido se vacía en las lingoteras y cuando este se haya solidificado y enfriado se pesa y el peso se registra en la correspondiente tabla de resultados.

Esta técnica de fusión se llevó a cabo con las tres temperaturas de trabajo propuestas, es decir, 700, 800 y 900 °C, debiéndose repetir un mínimo de tres veces para cada caso como una medida de confiabilidad de los resultados.

SEGUNDA PARTE

Las técnicas de fusión realizadas en esta parte son básicamente las mismas que las llevadas a cabo en la primera parte, la diferencia radica en que en esta ocasión se utilizó horno de crisol en lugar del horno de inducción.

8. RESULTADOS

PRIMERA PARTE

PRUEBA No. 1.

Tipo De Horno: Inducción
Forma De La Chatarra: Lingote
Fúndente: Coverall 78-M
Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA	FÚNDETE	PESO DE FÚNDETE	PESO DE CHATARRA	PESO DE ESCORIA	PESO DE ALUMINO RECUPERADO	RENDIMIENTO DE FÚNDETE	RECUPERACIÓN
700	coverall 78-M	150	3070	73.2	3030	-40	98.7
700	coverall 78-M	150	3030	54.2	3000	-30	99.0
800	coverall 78-M	150	3100	44.2	3080	-20	99.4
800	coverall 78-M	150	3000	50.2	2700	-70	90.0
900	coverall 78-M	150	3030	29.6	3020	-10	99.7
900	coverall 78-M	150	3080	39.97	3070	-10	99.7

PRUEBA No. 2

Tipo De Horno: Inducción
 Forma De La Chatarra: Lingote
 Fúndente: 50% NaCl, 50% KCl
 Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA (°C)	FUNDENTE	PESO DE FUNDENTE (g)	PESO DE CHATARRA (g)	PESO DE ESCORIA (g)	PESO DE ALUMINO RECUPERADO (g)	DIFERENCIA DE PESO AL FUNDENTE (g)	RECUPERACION (%)
700	50 % NaCl 50% KCl	150	3010	3.2	2980	-30	99
700	50 % NaCl 50% KCl	150	3010	10.0	2985	-25	99.2
800	50 % NaCl 50 % KCl	150	3035	2.6	3010	-25	99.2
800	50 % NaCl 50 % KCl	150	3025	8.3	3010	-15	99.5
900	50 % NaCl 50 % KCl	150	2985	1.9	2985	0.0	100
900	50 % NaCl 50 % KCl	150	3060	2.3	3055	-5	99.8

PRUEBA No. 3

Tipo De Horno: Inducción
Forma De La Chatarra: Rebaba
Fúndente: Coverall 78-M
Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA (°C)	FUNDENTE	PESO DE FUNDENTE (g)	PESO DE CHATARRA (g)	PESO DE ESCORIA (g)	PESO DE AL RECUPERADO (g)	DIFFERENCIA DE PESO (g)	RECUPERACION (%)
700	coverall 78-M	16.6	500	250	230	-270	46
700	coverall 78-M	16.6	500	270	220	-280	44
800	coverall 78-M	16.6	500	260	250	-250	50
800	coverall 78-M	16.6	500	230	270	-230	54
900	coverall 78-M	16.6	500	240	265	-235	53
900	coverall 78-M	16.6	500	210	270	-230	54

PRUEBA No. 4

Tipo De Horno: Inducción
 Forma De La Chatarra: Rebaba
 Fúndente: 50% NaCl, 50% KCl
 Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA	FÚNDENTE	PESO DE FÚNDENTE	PESO DE CHATARRA	PESO DE ESCORIA	PESO DE AL. RECL. CRISO	DEBIDA APLICACIÓN	RECUPERACIÓN
700	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	255	210	-290	42
700	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	260	200	-300	40
800	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	295	225	-275	45
800	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	250	230	-270	46
900	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	250	260	-240	52
900	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	240	235	-245	51

SEGUNDA PARTE

PRUEBA No. 1
 Tipo De Horno: De Crisol
 Forma De La Chatarra: Lingote
 Fúndente: Coverall 78-M
 Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

PESO ATIVA (KG)	FUNDEN TE	PESO DE FUNDENTE	PESO DE CHATARRA	PESO DE ESCORIA	PESO DE AL RECUPERADO	DIFERENÇA DE PESO (G)	RECUP ERACION (%)
700	coverall 78-M	150	2340	65	2310	-20	
700	coverall 78-M	150	2330	84.7	2070	-260	88.8
800	coverall 78-M	150	2330	79	2010	-320	86.3
800	coverall 78-M	150	2030	110	2000	-30	98.5
900	coverall 78-M	150	2035	150	2015	-20	98.5
900	coverall 78-M	150	2010	140	2010	-150	100

PRUEBA No. 2

Tipo De Horno: De Crisol
Forma De La Chatarra: Lingote
Fúndente: 50% NaCl, 50% KCl
Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA	FUNDENTE	PESO DE FUNDENTE	PESO DE CHATARRA	PESO DE ESCORIA	PESO DE AL RECUERDADO	DEFERENCIA DE PESO	RECUP. FUNDIDO
700	50% NaCl 50% KCl	150	2030	9.2	2000	-30	98,5
700	50% NaCl 50% KCl	150	2040	10,4	2010	-30	98,5
800	50% NaCl 50% KCl	150	2025	8.3	2000	-25	98,8
800	50% NaCl 50% KCl	150	2040	7.6	2020	-20	99
900	50% NaCl 50% KCl	150	2050	2.5	2040	-10	99,5
900	50% NaCl 50% KCl	150	2060	4,3	2050	-10	99,5

PRUEBA No. 3

Tipo De Horno: De Crisol
Forma De La Chatarra: Rebaba
Fúndente: Coverall 78-M
Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA	FÚNDENTE	COEF. DE FUSIÓN	PESO DE LA CHATARRA	PESO DE ESCORIA	PESO DE FUNDIDO	RENDIMIENTO	GRANULOMETRÍA
700	coverall 78-M	16.6	500	200	330	-170	66
700	coverall 78-M	16.6	500	170	325	-175	65
800	coverall 78-M	16.6	500	195	380	-120	76
800	coverall 78-M	16.6	500	140	375	-125	75
900	coverall 78-M	16.6	500	145	390	-110	78
900	coverall 78-M	16.6	500	140	380	-120	76

PRUEBA No. 4

Tipo De Horno: De Crisol
 Forma De La Chatarra: Rebaba
 Fúndente: 50% NaCl, 50% KCl
 Tipo De Crisol: Crisol De Grafito

TEMPERATURA °C	FÚNDENTE	PESO DE FUNDENTE	PESO DE CHATARRA	PESO DE ESCOMA	PESO DE ALUMBRADO	OPRESIONES AL MARTILLO	RELIQUE
700	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	190	340	-160	68
700	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	200	350	-150	70
800	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	160	380	-120	76
800	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	150	385	-115	77
900	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	130	390	-110	78
900	50% NaCl 50% KCl	16.6	500	120	400	-100	80

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

PRIMERA PARTE.

De los resultados obtenidos para la prueba No. 1, se puede observar una clara tendencia de aumento en la recuperación a medida que la temperatura aumenta, esto es debido a que al aumentar la temperatura, la fluidez del aluminio también aumenta, esto trae como resultado una mayor facilidad en la separación de la escoria del metal líquido y por consiguiente una mayor eficiencia en este proceso lo cual significa que la técnica de fusión resulta más efectiva a medida que la temperatura aumenta, dando como resultado que se tenga un menor arrastre del aluminio líquido junto con la escoria al momento de retirarla, así como la adhesión del metal líquido en las paredes del crisol, todo esto en conjunto dan como resultado una mejor recuperación a medida que la temperatura se incrementa. Lo anterior puede corroborarse también con la cantidad de escoria formada en cada caso; a menor temperatura mayor cantidad de escoria obtenida, lo cual implica mayor oxidación del metal fundido así como también un mayor arrastre del mismo junto con la escoria debido a que éste queda atrapado y su liberación no es muy efectiva, a mayor temperatura menor cantidad de escoria formada, la oxidación probablemente sea un poco mayor pero no es tan significativa y por el contrario el arrastre de metal fundido junto con la escoria desciende considerablemente, debido a que le es más fácil al aluminio escapar de la escoria al aumentar su fluidez mediante un aumento de temperatura, además se tiene una menor adherencia de este a las paredes del crisol. por lo cual el peso de la escoria formada desciende notablemente según puede observarse en los resultados. Por todo lo anterior podemos asegurar que la temperatura de trabajo influye en forma notable sobre los resultados de la técnica de fusión empleada resultando ser más efectiva al llevarse a cabo a una temperatura mayor que a una menor como anteriormente se dijo.

Para la prueba No. 2, se observa un comportamiento muy similar a la prueba anterior debido a que se presenta un incremento en la recuperación a medida que la temperatura se incrementa, pero debe notarse que las recuperaciones son mejores para este caso que para las obtenidas en la prueba No. 1 y tan solo a 700°C son iguales ambas, esto implica que con el uso de este fundente (50% NaCl, 50% KCl) no se presenten pérdidas tan severas como en el caso en que se utilizó el fundente anterior (coverall 78-M), esto puede deberse a diversos motivos uno de ellos puede ser que el fundente formado con la mezcla de 50% NaCl, 50% KCl se funde antes que el metal y posteriormente comienza a volatilizarse

al ir aumentando la temperatura, dando como resultado que a la temperatura de trabajo el fúndente ya está completamente líquido, tendiendo a expandirse homogéneamente sobre toda la superficie del material fundido no permitiendo el contacto de este con los gases presentes en el medio ambiente los cuales propician una gran oxidación del material; otro motivo puede ser que este fúndente no se puede retirar completamente del baño metálico debido a su gran fluidez, esto implica que se presente un gran atrapamiento del fúndente y con esto aumenta el peso del aluminio recuperado, sin embargo esto es erróneo ya que al pesar el producto obtenido, se pesa tanto al metal recuperado como al fúndente atrapado. Por su parte el coverall 78-M tiene un punto de fusión más elevado, por lo que a las temperaturas de trabajo propuestas permanece aún sólido y debido a esto se debe formar una capa sobre el material la cual se encargará de evitar el contacto de este con el medio ambiente y de esta manera evitar la oxidación, además, como este fúndente permanece sólido a la temperatura de trabajo si es posible retirarlo y al llevar a cabo esto, también se arrastra cierta cantidad de aluminio líquido lo que disminuye la recuperación. Para este estudio el tipo de fúndente utilizado no presenta una gran relevancia sobre la técnica de fusión debido a que sólo importó la cantidad y no se trató el aspecto de la calidad del producto obtenido; aún cuando se puede observar que con uno de ellos se obtienen mejores resultados las diferencias presentes no son muy notables entre uno y otro.

Observando los resultados obtenidos en la prueba No. 3, se observa un comportamiento similar a los anteriores, a medida que la temperatura aumenta, la recuperación también aumenta y disminuye la cantidad de escoria formada. Pero si se comparan estas recuperaciones con las obtenidas en las pruebas No. 1 y No. 2, en las que se utilizó chatarra en forma de lingotes, se puede notar que son muy inferiores, esto es debido primeramente a que la chatarra en forma de rebaba presenta una gran área superficial de contacto con el medio ambiente, y por el contrario los lingotes presentan una área superficial de contacto mucho menor, además de que debido a la geometría de las rebabas se encuentran presentes una gran cantidad de huecos entre ellas lo que dificulta el funcionamiento del fúndente, estos huecos provocan también que la transferencia de calor no sea tan eficiente y por consiguiente la fusión se lleve a cabo más lentamente provocando un rápido consumo del fúndente pudiendo llegar a ser insuficiente, es decir que el material se llegue a quedar sin protección o que esta sea insuficiente.

Además se presentan grandes dificultades para separar la escoria del metal fundido, debido a que éste queda atrapado dentro de la escoria, la mayor parte del material se encuentra en el centro rodeado de escoria, por lo cual se tuvo que abrir un hueco en la

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

escoria para poder vaciar el metal fundido en las lingoteras, además debe hacerse notar que se presenta un gran atrapamiento de pequeñas gotas de aluminio dentro de la escoria que no se llegan a reunir con el que se encuentra en el centro y estas gotas son muy difíciles de recuperar debido a su tamaño por lo que también representan severas pérdidas. Al igual que la temperatura de trabajo la forma de la materia prima juega un papel muy importante dentro de la técnica de fusión empleada según lo muestran los resultados obtenidos en esta prueba en la cual se tuvo una disminución en la velocidad de fusión de las rebabas como anteriormente se mencionó, por lo que la secuencia de carga se llevó a cabo más lentamente provocando una mayor oxidación de la carga así como un mayor gasto de fundente dando como resultado que las recuperaciones desciendan notablemente.

Para la prueba No. 4 se observa la misma tendencia que en las pruebas anteriores, un aumento en las recuperaciones a medida que la temperatura aumenta, pero en esta ocasión la recuperación es ligeramente menor que en el caso en que se utiliza el fundente formado con la mezcla de 50% NaCl, 50% KCl, esto debido a que el coverall 78-M resulta ser menos eficiente debido a que tiene que cubrir la superficie expuesta al medio ambiente del material y por el tamaño y geometría que presentan las rebabas tiende a irse al fondo y dejarlas sin protección por lo que se tiene una mayor oxidación y con ello la recuperación disminuye. En este caso la técnica de fusión se lleva a cabo bajo condiciones adversas, chatarra en forma de rebaba que presenta una gran oxidación y fundente no muy efectivo ya que tiende a irse al fondo dejando sin protección a la carga; el resultado se ve claramente reflejado en las recuperaciones obtenidas en esta prueba siendo estas las más bajas obtenidas hasta el momento.

SEGUNDA PARTE

Prueba No. 1 algunos de los resultados obtenidos en esta prueba se pueden considerar fuera de rango, esto es debido a que se presentan graves problemas al momento de vaciar ya que el aluminio líquido presenta una gran adherencia con el crisol, pero este inconveniente se va minimizando al aumentar la temperatura, debido a que la fluidez del aluminio aumenta con la temperatura, lo cual hace que sea menor su adherencia y mayor la recuperación como se mencionaba anteriormente, por lo que también se puede observar un claro aumento en la recuperación de aluminio a medida que la temperatura de trabajo se incrementa.

Comparando las recuperaciones obtenidas en esta prueba con las obtenidas en la prueba No. 1 de la primera parte la cual presenta iguales condiciones de trabajo (chatarra en forma de lingote, fúndente coverall 78-M, mismas temperaturas de trabajo), pero en horno de inducción, se puede notar que son menores, esta situación es lógica debido a que se tienen condiciones de trabajo sumamente diferentes, siendo estas más drásticas en el horno de crisol en el cual el material se encuentra rodeado por un medio ambiente muy oxidante este medio ambiente es producido por la combustión del gas utilizado para llevar a cabo la fusión, así como también por el aire que es inyectado junto con el gas y que contiene oxígeno y humedad que también oxidan al material, además de ser más difícil el control de la temperatura de trabajo, esto implica que la técnica de fusión resulta ser más eficiente en el horno de inducción que en un horno de crisol por las características del medio ambiente que lo rodea, teniéndose en cuenta que sólo se toma en cuenta la cantidad de aluminio recuperado y no la calidad, aspecto en el cual sería más notoria la influencia del tipo de unidad de fusión empleada sobre la técnica de fusión .

Prueba No. 2, en este caso las condiciones de fusión son las mismas que en la prueba anterior, únicamente se varia el tipo de fúndente, con los resultados obtenidos, podemos observar que se presenta la misma tendencia de aumento en la recuperación a medida que la temperatura de trabajo se incrementa, así como una disminución en las recuperaciones comparadas con la prueba anterior y con la prueba No. 2 de la primera parte, con respecto a la prueba anterior la disminución en las recuperaciones es debida a el tipo de fúndente ya que resulta ser mas eficiente el fúndente de 50% NaCl, 50% KCl que el coverall 78-M como anteriormente se dijo, y con respecto a la prueba No. 2 de la primera parte esta disminución es debida a el tipo de horno utilizado, ya que es mas eficiente el horno de inducción que el de crisol como anteriormente se explico. Para esta prueba al igual que para la anterior es notorio el efecto que tienen sobre la técnica de fusión tanto el tipo de fúndente como la unidad de fusión, por lo que aún cuando se empleen técnicas de fusión semejantes, si se realizan bajo distintas condiciones los resultados que se obtienen son diferentes tal como lo muestran los resultados de esta prueba.

Prueba No. 3, como es de esperarse las recuperaciones obtenidas en esta prueba son menores comparadas con las obtenidas en las dos pruebas anteriores ya que al fundir chatarra en forma de rebabas se presentan muchas dificultades en el proceso tales como elevados atrapamientos de metal líquido dentro de la escoria, dificultad para vaciar, deficiencia del fúndente etc., todo lo cual provoca una mayor oxidación del material como se explicó anteriormente, pero si se comparan los resultados con los obtenidos en la prueba No.

3 de la primera parte, se presenta una situación inversa, debido a que se esperaba una menor recuperación en un horno de crisol que en uno de inducción cosa que aquí no ocurre sino por el contrario se presentan recuperaciones más elevadas en horno de crisol que en horno de inducción, esto sucede porque en este ensayo el vaciado se llevó a cabo en lingoteras de un solo elemento y no en lingoteras de 9 elementos como se realizó en todas las pruebas anteriores, además estas lingoteras de un solo elemento presentaban un ángulo de inclinación suficiente para que al momento del vaciado el aluminio pudiera escurrirse hasta la parte más baja y quedar en la parte más alta la escoria la cual contenía una menor cantidad de aluminio atrapado en su interior, este cambio en el vaciado, es un cambio en la técnica de fusión empleada y modifica satisfactoriamente los resultados obtenidos, si éste procedimiento se hubiera realizado en las pruebas efectuadas en el horno de inducción las recuperaciones obtenidas se hubieran mejorado.

Para este caso es sumamente notorio un aspecto que no se había contemplado anteriormente: el vaciado y el tamaño de las lingoteras utilizadas lo cual tiene una gran relevancia sobre la técnica de fusión como lo demuestran los resultados obtenidos en esta prueba, lo anterior nos muestra que algún cambio realizado en alguno de los aspectos que involucra la técnica de fusión, aunque parezca no muy relevante, tiene como resultado algún cambio en la eficiencia de la técnica empleada y esta a su vez en la cantidad de aluminio recuperado.

Prueba No. 4, en esta prueba también se obtuvieron mejores recuperaciones que para la prueba realizada en horno de inducción (prueba No. 4 de la primera parte) ya que se aplicó el mismo método de vaciado que en la prueba anterior, pero con respecto a esta anterior prueba las recuperaciones son mayores debido a que como se explicó con anterioridad es más eficiente el fundente formado con 50% NaCl y 50% KCl que el fundente coverall 78-M, las recuperaciones también son menores que en las obtenidas en las pruebas No. 1 y No. 2 de esta parte debido a las inconveniencias que se presentan al fundir chatarra en forma de rebaba, las cuales ya se discutieron con anterioridad.

10. CONCLUSIONES

- 1- La técnica de fusión es más eficiente y se lleva a cabo mejor en un horno de inducción que en uno de crisol.
- 2- La técnica de fusión es más eficiente y por consiguiente las recuperaciones son mejores cuando se utiliza chatarra en forma de lingote que cuando la chatarra se encuentra en forma de rebaba.
- 3- Se presentan menores pérdidas cuando se trabaja con el fúndente formado con 50% NaCl y 50% KCl que cuando se trabaja con el fúndente comercial Coverall 78-M.
- 4- Las recuperaciones resultan ser mejores cuando la temperatura de trabajo es de 900 °C, sin embargo no es recomendable trabajar a esta temperatura en la práctica, debido a que implica un elevado consumo de energía y una gran oxidación del material por lo que es necesario utilizar una mayor cantidad de fúndente, por lo cual la temperatura recomendable es de 800°C.

La técnica de fusión más conveniente para el procesamiento de chatarra de aluminio encontrada en éste estudio se enlista a continuación y para la cual se utilizó el siguiente equipo y materia prima:

EQUIPO

- Horno de inducción
- Multímetro
- Termopar Tipo K
- Crisol de grafito
- Lingoteras de 9 elementos
- Cucharilla para desescorificar
- Tenazas
- Guantes de asbesto
- Bata
- Casco y careta

-Botas de seguridad

Materia prima:

- Chatarra De Aluminio En Forma De Lingotes
- Fúndente 50% NaCl, 50% KCl (5% De La Carga Total)
- Temperatura De Trabajo: 800 °C

Técnica de fusión

1. Pesar la carga de chatarra de aluminio a utilizar.
2. Preparación de la carga:
 - Limpieza.
 - Pre calentamiento.
3. Pre calentamiento (acondicionamiento) del horno.
4. Carga del horno:
 - Inicialmente se introduce el 30% del total de la carga , agregando también el 30% del total del fúndente y esperar a que se funda en su totalidad.
 - Una vez que se haya fundido la carga inicial, se procede a introducir el 50% de la carga restante así como el 50% del fúndente restante y se espera a que se funda totalmente.
 - En el momento en que se funda completamente la carga anterior, se introduce lo que resta de la carga y del fúndente y se espera hasta su fusión total.
5. Consecución de la temperatura de trabajo (800°C)
6. Posteriormente se lleva a cabo la des escorificación y la escoria retirada se deposita en un crisol o lingotera para su posterior tratamiento.
7. Vaciado.

Tratamiento de la escoria.

La escoria retirada se somete a un posterior tratamiento que consiste en volver a calentarla en un crisol con una cierta cantidad de carbón vegetal a una temperatura de 800 °C durante 30 minutos con el fin de separar de ella la máxima cantidad posible de aluminio retenido dentro de ella y reemirlo con el obtenido en el vaciado.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Román Moguel, Guillermo J.; Alonso Villanueva, José Luis; Tovar Francisco, Salvador; "Aluminio Secundario: Clasificación, Procesamiento y Expectativas"; *Moldeo y Fundición*; No. 85; Año XIV; (Febrero 1993); pp. 48-56.
2. Román Moguel, Guillermo J. "Propuesta de Norma de Chatarra de Aluminio al IMEDAL"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; Tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 67-74.
3. Román Moguel, Guillermo J.; "Estrategias y sistemas de recuperación de Chatarra de Aluminio"; *Moldeo y fundición*; No. 81; año XIV; (Junio 1992); pp. 42-48.
4. Peterson, Ray D.; "Common impurities in aluminum alloys"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992).
5. Roth, Thomas A.; "The application and teaching of recycling as a part of an engineering college production processes course"; *First international Symposium on recycle on secondary recovery of metals*; Metallurgy Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 533-543.
6. Neff, David V.; "The use of gas injection pumps in Secondary Aluminum metal refining"; *First international Symposium on recycle and secondary recovery of metals*; Metallurgy Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 73-95.
7. Bowman, Kenneth A.; "ALCOA's Used Beverage Cans (UBC) Alloy separation process"; *First international Symposium on recycle and secondary recovery of metals*; Metallurgy Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 429-443.
8. Van Linden, J.H.L.; "The Aluminum Industry and Recycling a Synergistic Partnership"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; Tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 41-53.

9. Lewy Eisner, Salomón; "Situación de la Recuperación del Aluminio en México"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 56-66.
10. Raya M, H. Raúl y Hernández U., Gustavo; "Nuevos desarrollos en la inyección de fundentes en las Aleaciones de Aluminio"; *1er. panel Técnico de la fusión del Aluminio*; Tomo 1; IMEDAL, A.C.; Ixtapa, Gro.; (Mayo, 1992); pp. 24-32.
11. Flores V., Alfredo, et al.; "Desarrollo de fundentes protectores para aleaciones de Aluminio líquidas"; *Moldeo y fundición*; pp. 35-40.
12. Almanza R., J. M. et al.; "Tratamiento y obtención de subproductos de escorias de fundición de Aluminio Secundario"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 97-111.
13. Roy, Raja R. and Sahai, Y.; "Interfacial tension in molten Aluminum Alloys and salt systems"; *Ligth Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 717-720.
14. Crepeau, P. N. Fenyés, M. L. Jeanneret, J. L.; "Solid fluxing practices for Aluminum melting"; *Modern Casting*; Vol. 82; No. 7; (Julio, 1992); pp. 28-30.
15. Neff, David V.; "Chlorination technology in Aluminum recycling"; *Ligth Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 1053-1060.
16. Metals Handbook, Formerly Ninth Edition; ASM; Volume 15; Casting; USA; 1988.
17. Alonso M., Juan Carlos y Ortega Gómez, Gustavo F.; "Aleaciones de Aluminio"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 147-168.