



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

22

2EJ

FACULTAD DE QUIMICA

GRADOS PROFESIONALES
QUIMICA

ESTUDIO DE FUNDENTES PARA LA RECUPERACION
DE CHATARRA DE ALUMINIO

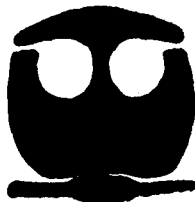
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

JOSE ARTURO TOSCANO GILES



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:

PRESIDENTE: PROF. EUSEBIO CÁNDIDO ATLATENCO TLAPANCO

VOCAL: PROF. JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA HINOJOSA

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:


José Arturo Toscano Giles

**ANTES DE QUE AMANEZCA, EL ALMA MÍA
ESTÁ YA DISPUESTA A LUCHAR;
DEJARÉ EN LA OSCURIDAD MI COBARDÍA,
PORQUE YA EL NUEVO DÍA VA A EMPEZAR.**

**ME VOY A SUPERAR, ESE ES MI EMPÑO,
MIL VECES ME LO VOY A REPETIR,
HOY SE HARÁN REALIDAD TODOS MIS SUEÑOS,
MIS ENORMES DESEOS DE VIVIR.**

**HOY VOY A TRATAR DE SER DISTINTO,
CON UN NUEVO VIGOR, UN NUEVO ANHELO,
HARÉ TRIUNFAR LA PIEDAD SOBRE EL INSTINTO,
PARA SUBIR UN PELDAÑO HACIA EL CIELO.**

**ANTES DE AMANECER ESTOY DISPUESTO,
A ENFRENTARME A LA VIDA CON VALOR,
ACEPTARÉ JUSTOSO EL DULCE RETO
DE ¡ CADA DÍA VOY A SER MEJOR !.**

V.M.O.

AGRADECIMIENTOS :

A mis padres: Albina y Arnulfo. Por su apoyo incondicional durante toda la vida, aún en momentos difíciles. gracias por creer en mi, y permitirme alcanzar esta meta tan anhelada. Gracias por lo que hemos logrado.

A mis Hermanos: Norma, Salvador y Alejandro. Porque sin ustedes nada hubiera sido posible.

A mi asesor: Cándido Atlatenco. Por haberme brindado la oportunidad de trabajar con el y desarrollar el presente trabajo.

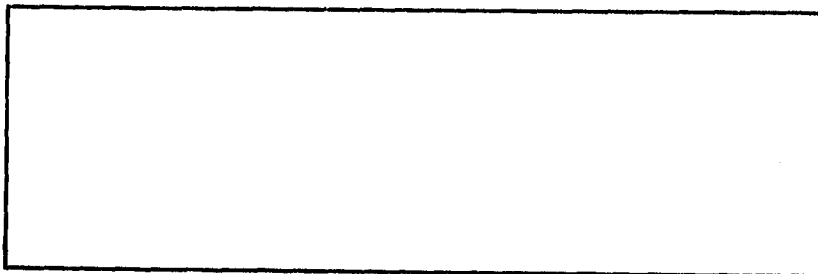
Al equipo de FUNDICIÓN: Adrián Amaro, Alejandro Hinojosa, Arturo Sánchez, Carlos González, Ignacio Beltrán . Porque ayudaron a mi formación profesional.

A mis amigos: Alejandra, Ángeles, M. Antonio, Candy, J. Carlos, Christian, J. Guadalupe, Israel, Lluvia, Rogelio y Victor. Por brindarme su amistad y ayuda.

A todos ellos, mil gracias.

J.A.T.G.

DEDICATORIA



ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- ANTECEDENTES.....	3
II.1.- TIPOS DE CHATARRA.....	3
II.2.- PROCESAMIENTO DE LA CHATARRA DE ALUMINIO.....	6
II.2.1.- PROCESAMIENTO ANTES DE LA FUSIÓN	7
II.2.2.- PROCESAMIENTO DURANTE LA FUSIÓN.....	12
II.2.3.- PROCESAMIENTO DESPUÉS DE LA FUSIÓN	14
II.3.- FUNDENTES PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	16
III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	25
III.1.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	26
IV.- RESULTADOS.....	30
IV.1.- TEMPERATURAS DE FUSIÓN.	30
IV.2.- PORCENTAJE DE VOLATILIZACIÓN.....	30
IV.3.- RENDIMIENTOS (RECUPERACIÓN).....	32
IV.4.- POROSIDAD	33
IV.5.- METALOGRAFÍA	34
V.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
VI.- CONCLUSIONES.....	46
VII.- BIBLIOGRAFÍA	47

I.- INTRODUCCIÓN

La industria del aluminio, y en especial la industria de la fundición, esta en continuo crecimiento debido a que, por una parte, las propiedades físicas del Aluminio lo hacen un material adecuado principalmente para las industrias de: Transporte, Construcción, Empaques, Enseres domésticos, etc. y por otra parte por el aumento de las necesidades de reciclado de la chatarra de Aluminio y sus aleaciones, que en un principio eran ignoradas debido a la disponibilidad de Aluminio primario. También es conocido que el reciclado de Aluminio es favorable estratégicamente y energéticamente. Energéticamente es favorable ya que para producir una pieza de Aluminio a partir de chatarra requiere sólo de 5% de la energía que se necesita si se partiera del mineral Bauxita. Y es estratégicamente favorable debido a que México importa, principalmente de E.U.A., grandes cantidades de Bauxita, chatarra o lingotes de Aluminio primario, que el reciclado eliminará grandemente. Además, los requerimientos de preservación del medio ambiente han llegado a ser más estrictos, por lo que la creación de Tecnologías eficientes son cada día más necesarias. Sin olvidar también, los beneficios de evitar generar más basura, originando así, infraestructuras de acopio y procesamiento de chatarra de Aluminio. Con un sistema adecuado de acopio y clasificación de chatarra de Aluminio se evitaría procesar chatarra sucia (con ferrosos, papeles, plásticos, aceites, etc.); y de esta forma se incrementarían los rendimientos o recuperaciones en los procesos de reciclado. Por éstas razones, el reciclado se debe incrementar aún más.

Es importante también señalar que la calidad del Aluminio obtenido por procesos de reciclado, se ve afectado directamente por:

- Tipo de chatarra a procesar, ya que el control de la materia prima se vuelve imprescindible, debido a que es muy variada la composición química de las diferentes aleaciones de Aluminio utilizadas en el mercado, y el rango de composición requerido puede ser muy estricto para re utilizar ese Aluminio, ya sea para piezas fundidas o para conformado.
- Proceso de fusión, debido a lo sensibles que son las aleaciones de Aluminio en estado líquido, es decir, la facilidad de combinarse con oxígeno, absorción de

hidrógeno naciente y su evolución durante la solidificación e inclusiones de partículas no metálicas.

Por lo anterior el presente trabajo inicia el estudio de fundentes a base de sales para la obtención de Aluminio secundario (reciclado de chatarra), tratando con ello, de determinar los fundentes más adecuados en el proceso de fusión, para obtener una alta recuperación (rendimiento) y un metal de calidad adecuada: libre de gases, de escorias, etc. determinando algunos parámetros importantes de los fundentes como Temperatura o rangos de fusión, estabilidad a diferentes Temperaturas de trabajo, eficiencia en la protección de aluminio líquido y su influencia sobre la estructura del producto final.

II.- ANTECEDENTES

Debido a que el aluminio tiene como características baja densidad, elevada conductividad térmica y eléctrica, aceptable resistencia a la corrosión, elevada resistencia mecánica, buenas propiedades de fundición, entre otras, este metal y sus aleaciones han tenido gran aceptación en diferentes ramas industriales tales como: Construcción, Eléctrica, Automotriz, Empaques, Aeronáutica, etc. En la tabla I⁽¹⁾ se presentan los usos principales del Aluminio por sector en México para el año de 1991.

TABLA I. DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DE ALUMINIO EN MÉXICO

INDUSTRIA USUARIA	%
Transporte	20
Eléctrica	20
Empaques	17
Construcción	12
Domestico	10
Química	6
Otras	15
TOTAL	100

II.1.- TIPOS DE CHATARRA

A principios de éste siglo se inició la producción de Aluminio reciclado y a partir de esa fecha, esta industria ha crecido constantemente debido a los beneficios de carácter energético, tecnológico, y socio-económico. Aunque en México aún resta mucho por hacer en el aspecto socio económico, debido a que no han podido coincidir los objetivos de los diversos sectores involucrados en la recuperación de chatarra. La poca participación y las diferencias entre éstos sectores, trae como consecuencia que no exista una norma integral para definir el tipo de chatarra, requerimientos físicos y químicos, método de muestreo, etc. Actualmente en México existen 10 tipos de chatarra de Aluminio clasificados⁽²⁾ como se observa en la tabla II.

TABLA II: CLASIFICACIÓN DE CHATARRA DE ALUMINIO EN MÉXICO

TIPO DE CHATARRA	OBSERVACIONES
A. Cable	Sin centro de acero
B. Perfil de prensa	
C. Perfil de patio	
D. Delgado	De prensa o troquel; utensilios
E. Grueso Industrial	Piezas automotrices (industrial)
F. Grueso Patio	Piezas automotrices (deshuesaderos)
G. Bote	
H. Rebaba	
I. Revuelto	
J. Escorias	

Por convención se consideran tres tipos generales de chatarra de Aluminio⁽³⁾:

CHATARRA INTERNA: Es la que se genera dentro de las plantas de producción: lingotes, descartados, sistemas de alimentación, cortes, material de rechazo, etc., que normalmente se recicla en la planta y muy pocas veces aparece en las estadísticas.

CHATARRA NUEVA: Es aquella producida por los usuarios del metal semiterminado e incluye: Limaduras, rebaba, recortes, perforaciones, rechazos, etc.

CHATARRA VIEJA: Es la generada por los productos que han completado su vida útil: Latas de bebidas y comida, partes de automóviles, cables, radiadores, etc.

De la clasificación anterior, se puede inferir que son amplias y variadas las posibles fuentes de chatarra de Aluminio, y debido a esta extensión, es claro también, que existe un vasto rango de composición de elementos aleantes en Aluminio, por lo que la industria de reciclado, tiene que enfrentar al reto de cumplir con exigencias en especificaciones de composición química para producir nuevos productos útiles. Lo anterior se puede apreciar si se analiza la tabla III,⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾; en donde se presentan las composiciones y usos mas comunes en aleaciones de Aluminio. La parte superior de

la tabla muestra las aleaciones para conformado y la parte inferior las de colada. En la tabla IV⁽³⁾ se presentan los límites generales en los requerimientos de composición química.

TABLA III. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS PRODUCTOS DE ALUMINIO COMÚNMENTE USADOS.

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Uso
1235	0.65Si+Fe	—	0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	hoja impresa
3004	0.30	0.70	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3	0.25	—	cuerpos p/lata
5182	0.20	0.35	0.15	0.2-0.5	4.0-5.0	0.25	0.10	tapas p/lata
8079	0.05-0.30	0.70-1.3	0.05	—	—	0.10	—	foil p/hogar
3003	0.60	0.70	0.05-0.20	1.0-1.5	—	0.10	—	platos p/comida
3105	0.60	0.70	0.30	0.3-0.8	0.2-0.8	0.40	0.10	placas p/pared
6063	0.20-0.60	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	extrusiones
2036	0.50	0.50	2.2-3.0	0.1-0.4	0.3-0.6	0.25	0.15	lámina p/autos
5657	0.08	0.10	0.10	0.03	0.6-1.0	0.05	0.10	contramarcos
7016	0.10	0.10	0.6-1.4	0.03	0.8-1.4	4.5	0.03	parachoques
380	7.5-9.5	2.0	3.0-4.0	0.50	0.10	3.0	—	colada presión
390	16-18	1.3	4.0-5.0	0.10	0.45-0.65	0.10	0.20	bloques P/motor
360	9.0-10.0	2.0	0.6	0.35	0.4-0.6	0.5	—	colada presión
413	11.0-13.0	2.0	1.0	0.35	0.1	0.5	—	colada presión
520	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6	0.15	0.25	moldeo arena
202	0.10	0.15	4.0-5.2	0.2-0.8	0.15-0.55	—	0.15	moldeo arena
513	0.3	0.4	0.10	0.30	3.5-4.5	1.4	0.20	moldeo coquilla
296	2.0-3.0	1.2	4.0-5.0	0.35	0.05	0.50	0.25	moldeo coquilla

TABLA IV. LIMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA ALUMINIO RECICLADO

ELEMENTO ALEANTE	ESPECIFICACIÓN DESEADA	
	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

II.2.- PROCESAMIENTO DE LA CHATARRA DE ALUMINIO

Por la amplia diversidad en composición de elementos aleantes en Aluminio y también por la capacidad del Aluminio de alearse con una gran variedad de elementos metálicos (Fe, Mn, Ni, Mg, Cr, Ti, Cu, Na, Ca, etc.), provenientes de la misma materia prima o por su introducción accidental o proyectada. Su inclinación a oxidarse rápidamente en sus superficies que se encuentren en contacto con oxígeno proveniente del aire, la facilidad de absorber hidrógeno proveniente ya sea por humedad del medio ambiente, productos de combustión de los combustibles usados para la fusión, o por materia prima o herramental húmedos. Todo lo anterior hace que el reciclado de chatarra de Aluminio se torne complicada, y requiera de la utilización de nuevas Tecnologías para la eliminación de estos aspectos que pueden producir problemas de rechazo por poseer impurezas indeseables en la aleación. Además, se requiere obtener un máximo de recuperación, control en las especificaciones químicas, protección al medio ambiente y ahorros de tiempo, energía y dinero.

Para el procesamiento de chatarra de Aluminio, se hace la siguiente división:

- 1) Procesamiento antes de la fusión.
- 2) Procesamiento durante la fusión.
- 3) Procesamiento después de la fusión.

II.2.1.- PROCESAMIENTO ANTES DE LA FUSIÓN

Los aspectos principales que determinan el tipo de circuito de procesamiento se exponen de manera general en la tabla V⁽¹⁾.

Este trabajo se enfocará sobre el procesamiento de chatarra de latas de bebida, automotriz y de rebabas. Sin olvidar que existen otras fuentes de chatarra que actualmente tienen gran auge como lo son la de perfiles, cables, etc.

TABLA V. ASPECTOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE UN CIRCUITO DE PROCESAMIENTO DE CHATARRA DE ALUMINIO

CONCEPTO	CONSIDERACIONES
Cantidad	Tamaño, Forma, Tipo, Análisis
Condición	Pacas, Amarres, Carros, suelta
Problemas de Aleación	
Preparación	Desmenuzar, Despintar, etc.
Métodos de almacenaje	Bajo techo, Descubierta
Transporte	Cantidad, Por Tren, Por Camión
Método de recuperación y análisis	
Inventario	Tipo, Método de control
Densidad de chatarra	
Tipo de manejo de material	
Nivel de contaminación con aceites	

En la preparación de latas de Aluminio para la fusión, el proceso que mayor aceptación esta teniendo actualmente es el PROCESO ALCOA.

Una de las dificultades principales para el reciclado de latas de bebida es que están fabricadas de dos aleaciones diferentes: AA5182, que constituye la tapa, con 25% en peso y AA3004, que forma el cuerpo, con 75% en peso; (ver tabla III). La fusión conjunta de estas dos aleaciones da un contenido teórico de Mn de 1.03%, y un contenido teórico de Mg de 1.91%, en la práctica el contenido de Magnesio es variable y depende de la técnica de fusión, por la alta reactividad del Magnesio a Temperaturas de trabajo elevadas, llegando a ser en la práctica real de 1.30% para Mg y 1.03% para Mn⁽⁸⁾. Lo que provoca que la aleación obtenida sea inadecuada para volver a manufacturar láminas y de esta forma producir nuevas latas, pues para fabricar tapas el contenido de Mn es elevado y para producir cuerpos el contenido de Mg se excede, (ver tabla III); lo que requiere de la dilución costosa de estos elementos mediante el uso de Aluminio puro.

El proceso ALCOA separa estas aleaciones antes de fundirlas, basando esta separación en la diferencia de Temperaturas de fusión entre estas dos aleaciones: AA5182, 580° C - 636° C, y la aleación AA3004, 629° C - 654° C; haciendo pasar las latas a través de un horno rotatorio hasta la Temperatura de fusión incipiente de la aleación AA5182 lo que produce su fragmentación. Para su posterior separación, se realiza un tamizado dividiendo las partículas de acuerdo al tamaño. De manera esquemática en la figura 1 es presentado el proceso ALCOA.



FIGURA 1. PROCESO ACTUAL ALCOA PARA LA PREPARACION DE LATAS ANTES DE FUNDIRLAS.

Otro proceso actual para el tratamiento de latas de Aluminio consiste de las etapas presentadas en el esquema de la figura 2⁽⁹⁾. El proceso representado en la figura 2, de manera general inicia con la llegada de los paquetes de latas, éstos son destrozados y desmenuzados para crear una corriente de partículas más manejables, y en el camino, polvo y otros finos son removidos. Posteriormente pasan por un imán para apartar material ferroso y luego por un cuchillo neumático para separar no ferrosos, enseguida, las partículas pasan a través de un horno para su delaqueado donde la parte orgánica es eliminada, inmediatamente después las partículas son llevadas a fusión (sumergiéndolas en un baño sobrecalentado de Al líquido).

En este proceso se produce un metal cuya composición requiere dilución de Magnesio y algunas adiciones de Manganeso para lograr especificaciones en composición química para producir aleación 3004 para manufacturar cuerpos de latas para bebidas.



FIGURA 2. DIAGRAMA ACTUAL PARA EL PROCESAMIENTO DE LATAS.

La preparación actual de las latas involucra:

- Trituración/desmenuzado mecánico, para exponer sus superficies pintadas.
- Procesamiento térmico a aproximadamente 500° C, para quemar recubrimientos.
- Carga al horno de fusión.

Para la preparación de la chatarra automotriz, que sin duda es el grupo que en nuestro país envuelve el mayor tonelaje, debido a la amplia gama de productos que se elaboran por procesos de moldeo⁽¹⁰⁾.

El reciclado actual de automóviles se da de la siguiente manera⁽⁹⁾: Cuando el automóvil es descartado puede o ser empacado, o desmantelado o desmenuzado

directamente. El empaquetado de automóviles ha venido declinando debido a la calidad del acero recuperado. Típicamente el automóvil es primero desmontado por partes en un desmantelador, después, el armatoste es enviado a un desmenuzador, las partículas pasan por un imán para separar los metales ferrosos. Un clasificador de aire remueve la borra (tapicería, plástico ligero, caucho ligero, etc.); el material remanente es mitad no metal (vidrio, caucho, etc.), y la otra mitad es metal no ferroso con aproximadamente 60% Al, y el resto de una mezcla de Cobre, Latón, Zinc, y Acero inoxidable. Posteriormente pasan por separación en medio pesado donde son apartados los metales pesados. Luego los ligeros pasan por separadores de corrientes de Eddy, para separar los materiales conductores (Al, Mg) de los no metales (vidrio, plástico pesado, etc.). De esta manera el 75% del Aluminio original es retornado hacia la industria automotriz.

Lo anteriormente descrito, se puede apreciar en el diagrama bloques de la figura 3.

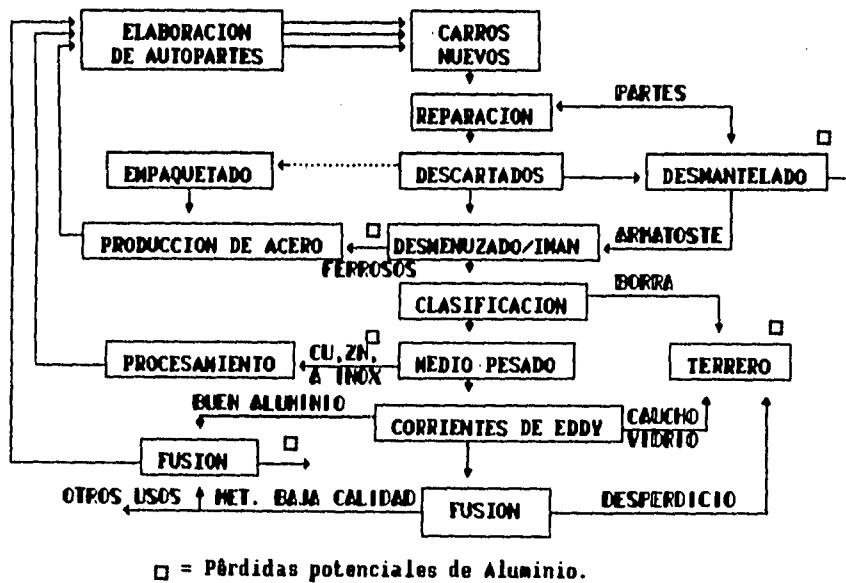


FIG. 3 DIAGRAMA ACTUAL DE RECICLADO DE AUTOMÓVILES

Existen diversos procesos para tratar chatarra automotriz, dependiendo del contenido de materiales presentes en la chatarra. Todos ellos tienen el propósito de mejorar la calidad y cantidad de los productos recuperados.

En el caso de procesar partículas finas sueltas (rebaba, alambres, recortes, etc.) es necesario realizar una aglomeración de dichas partículas; ya que la rebaba suelta tiene una densidad aparente de aproximadamente 0.25 g/cm^3 y una gran área superficial, además de que frecuentemente se encuentra húmeda y/o grasosa. Esto podría provocar grandes pérdidas de energía y de metal por la oxidación si se llegase a fundir la rebaba tal cual.

Para evitar la oxidación se han diseñado métodos para alimentar rebaba limpia, predensificada y suelta al interior del baño líquido. Muchas de estas técnicas utilizan una clase de barrenas y tubos, para carga, elaborados de grafito, los cuales llegan casi al fondo del baño y ahí descargan la alimentación.

Otra técnica se basa en la aglomeración de las partículas de chatarra⁽¹¹⁾. Existen dos métodos para compactar (aglomerar) la rebaba:

- Proceso de punzón y dado.
- Proceso de rodillos.

En el proceso de punzón y dado la rebaba suelta se coloca dentro de un dado en forma cilíndrica para luego recibir un fuerte golpe del punzón y así compactarse, las dimensiones aproximadas del producto son 80-190 mm. de diámetro, 30-120 mm. de altura y 0.4-7.3 Kg. de peso.

En el proceso de rodillos, la rebaba es pasada a través de dos rodillos que giran en sentidos opuestos, para de esa manera ser compactada, el producto obtenido es cortado a dimensiones de longitud deseada.

Con estos procesos se tiene un producto de densidad aparente poco mayores a 2.3 g/cm^3 , lo que significa que al cargar el horno el material compactado penetrará la capa de escoria y se sumergirá en el baño de metal líquido. El siguiente diagrama de bloques muestra el proceso de preparación de partículas.

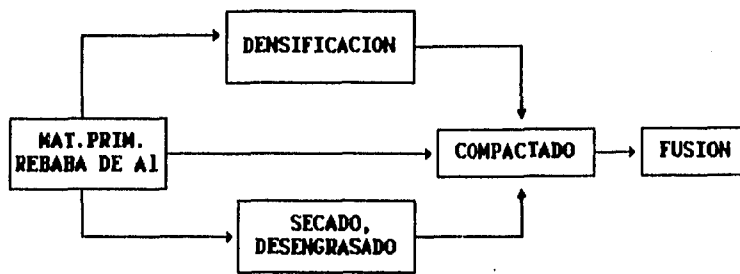


FIGURA 4. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PREPARACIÓN DE PARTÍCULAS PARA LA FUSIÓN

II.2.2.- PROCESAMIENTO DURANTE LA FUSIÓN

Los principales problemas asociados con aleaciones de Aluminio durante la fusión son: Hidrógeno disuelto, inclusiones no metálicas y remoción de aleantes indeseables, como pueden ser Fe, Cu, Sn, Ti, Mg, Zn, Pb, etc. Cabe señalar que estos elementos son indeseables para ciertas aleaciones y para otras no, dependiendo de la composición y propiedades requeridas para la aleación.

Para el caso del Fe, Cu, Sn, Ti, por ejemplo, la única alternativa para su remoción es mediante la dilución con Aluminio metálico de alta pureza.

Para la remoción del Magnesio, e impurezas de metales alcalinos, se emplean sistemas basados en la inyección de Cloro gaseoso u otro halógeno (particularmente Flúor, en pastillas o mezclado con N₂) dentro del baño para que reaccione con el Magnesio presente y forme un cloruro de Magnesio, MgCl₂, insoluble que pasara a la escoria para posteriormente ser desescorificado. En la práctica real, el MgCl₂ es formado debido a una reacción secundaria como resultado de la descomposición del Cloruro de Aluminio, que se forma cuando el cloro es burbujeado en el baño⁽⁵⁾.

Existen otros procesos tales como Derham, ALCOA, Depurador de Campana, o utilización de bombas inyectoras de gas que se basan en la inyección de Cloro para eliminar Magnesio.

Otra alternativa para remover Magnesio, y también Zinc y Plomo, de aleaciones de Aluminio es mediante la volatilización selectiva utilizando el proceso de refinación en vacío. Este proceso tiene la ventaja de que en poco tiempo (aproximadamente 15 min) remueve esas impurezas; además de que resulta aceptable para el control del medio ambiente y se pueden obtener subproductos que pueden ser reutilizables además de disolver gases contenidos en el líquido⁽¹²⁾⁽¹³⁾.

Para el control de Hidrógeno disuelto, que es el único gas con solubilidad importante en Aluminio, se han desarrollado distintas técnicas para la remoción de ese elemento, estas técnicas se resumen en la tabla VI⁽¹⁴⁾. De esta tabla es claro darse cuenta de las variadas técnicas existentes para desgasificado.

Durante la fusión de Aluminio rápidamente se forma una capa de óxido, Al_2O_3 , en sus superficies expuestas a atmósferas que contienen Oxígeno. Lo anterior aunado a la oxidación acelerada del Magnesio frecuentemente presente, provoca que partículas finas de óxido permanezcan suspendidas en el baño de Aluminio líquido, formando inclusiones dañinas en las piezas coladas. Además, algunas partículas de óxido envuelven cantidades considerables de Aluminio cuando se encuentran en la superficie, y que al ser removidos, se producen pérdidas de Aluminio metálico.

Entonces, para evitar la oxidación, acelerar la remoción de inclusiones, recuperar Aluminio de la escoria, evitar formación de óxido, impedir la dilución de Hidrógeno, y aún refinar el grano por la adición de agentes nucleantes, se utilizan en la práctica de fusión los *FUNDENTES*.

TABLA VI. TÉCNICAS DE DESGASIFICADO EN ALEACIONES DE ALUMINIO

FISICOS.	PRESOLIDIFICACION.	
	ULTRASONIDO.	
	VACIO.	CON GAS DE PURGA.
INYECCION DE GASES INERTES.		NITROGENO. ARGON.
	RECTAS.	
	TAPON POROSO.	
	ROTOR - DISPERSOR.	
GASES REACTIVOS.	HEXAFLORURO DE AZUFRE. CLORO. FREON 12.	LANZAS.
		TAPON POROSO.
		RECTAS.
		BOMBEO.
		ROTOR - DISPERSOR.
REACTIVOS CLORADOS SOLIDOS.	HEXAFLORURO DE AZUFRE. CLORO. FREON 12.	CAJAS DE DESGASIFICADO.
		INSUFLADO.
		CAMPANAS.
		PASTILLAS.
SALES DE CLORO.	CLORURO DE ZINC. CLORURO DE SODIO. CLORURO DE CALCIO. ETC.	INSUFLADO.
		CAMPANAS.
		PASTILLAS.
INYECCION DE FUNDENTES.	MEZCLA DE FUNDENTE CON GAS INERTE.	INSUFLADO.
		ROTOR - DISPERSOR.

II.2.3.- PROCESAMIENTO DESPUÉS DE LA FUSIÓN

Los puntos importantes a considerar en el procesamiento de chatarra de Aluminio después de su fusión son: Tratamiento de escorias y utilización de filtros para la remoción de inclusiones. Debido a que la fusión de chatarra de Aluminio genera grandes cantidades de escoria, se han ideado algunos métodos mecánicos e hidrometalúrgicos para recuperar los valores presentes. La escoria que se produce contiene una gran variedad de compuestos tales como: Aluminio metálico, óxidos,

silicatos, nitratos, cloruros, fluoruros, etc. y que dependen del proceso de fusión, tipo de carga y método de refinación utilizados. El objetivo principal del tratamiento de escorias es la recuperación de Aluminio metálico y obtención de subproductos útiles para otras industrias. Los métodos mecánicos más utilizados actualmente de manera comercial son⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾:

- -Tratamiento de alta y baja Temperatura.
- -Agitador de doble hoja.
- -Proceso A.R.O.S.
- -Procesamiento Prensa.

Mediante los procesos mecánicos arriba mencionados sólo es recuperado el Aluminio metálico y la recuperación obtenida varía de acuerdo al tipo de escoria que sea procesada.

En los métodos hidrometalúrgicos , bajo estudio, se obtiene Alúmina y/o subproductos mediante la lixiviación⁽¹⁵⁾, ya sea:

- -Con ácido clorhídrico.
- -Con ácido nítrico.
- -Con hidróxido o carbonato de sodio.

También existen varios procesos hidrometalúrgicos⁽¹⁷⁾ para eliminar Plomo de escorias de Aluminio y así obtener un producto que cumpla con especificaciones y pueda ser utilizado en la industria del cemento.

Ya que la remoción de partículas no metálicas e intermetálicas suspendidas en el Aluminio líquido es un problema que puede provocar mermas en la calidad y propiedades en las piezas coladas, se han diseñado técnicas para su remoción, además de las técnicas de asentamiento - flotación, y adhesión a la burbuja, se ha ideado la técnica de filtración en la que el metal líquido pasa a través de un medio filtrante, atrapando así, a las partículas indeseables.

Se puede filtrar al Aluminio líquido en una unidad de tratamiento o en el molde. Para el primer caso, un filtro o cama empacada es colocado en la unidad de tratamiento y se hace pasar a través de él el baño metálico. En el segundo caso, el filtro es colocado en el molde y el metal vaciado pasa a través del filtro entrando a la cavidad de la pieza ya limpio.

Existen tres sistemas principales de filtración⁽¹⁸⁾:

REJILLAS: Son metálicos o de resina ligada con vidrio y son colocados tan cerca como sea posible a la cavidad del molde. Son de fácil uso, de poco costo y su efectividad depende del tamaño de malla.

CAMAS FILTRANTES: Fabricadas de agregados inertes (Alúmina, carbón de leña), o activos (que utilizan fundentes). Su eficiencia depende de la finura del grano, espesor de la cama y la velocidad de flujo del líquido

FILTROS CERÁMICOS: De tipo espuma celular, celdillas finas extruidas, o comprimidos; con eficiencia intermedia y elevado costo.

II.3.- FUNDENTES PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Los fundentes juegan un papel muy importante en la fusión y/o reciclado de chatarras, ya que del uso de estos dependerá, en gran medida, el porcentaje de recuperación de los metales, calidad del metal producido y por tanto sus propiedades en general.

Cada fundente tiene un uso específico; así pues, existen cuatro principales tipos de fundentes.

1. **Fundentes protectores o de cobertura:** Usados para prevenir la absorción de gases y evitar la oxidación.
2. **Fundentes de limpieza:** Usados para remover las inclusiones no metálicas.

3. **Fundentes desgasificantes:** Usados para eliminar gases atrapados (Hidrógeno especialmente).

4. **Fundentes escoriificantes exotérmicos:** Usados para recuperar metal de las escorias.

La evaluación del comportamiento de los compuestos utilizados como fundentes se basa en aspectos de tipo:

- TÉCNICO•ECOLÓGICO• ECONÓMICO

Un buen fúndente deberá cumplir con tres requerimientos principales⁽¹⁹⁾:

1. Un fúndente deberá cubrir el metal y prevenir la oxidación.
2. Un fúndente deberá disolver o suspender partículas extrañas, óxido y suciedad contenidos en el metal, y
3. Un fúndente deberá promover la coalescencia de metal líquido mediante la remoción de la capa adherida de óxido de Aluminio o Magnesio sobre la superficie del metal.

Otros factores físico-químicos para los fundentes se listan en la tabla VII. donde se muestran algunos requerimientos secundarios.

Después de que un fúndente reúne los tres requerimientos primarios, deberá reunir la mayoría de los requerimientos secundarios.

TABLA VII. Requerimientos secundarios para un fúndente.

Punto de fusión menor o igual a 660°C (1220°F)
Densidad menor de 2.3 g/cm³
No reaccionar o contaminar el metal
No atacar las paredes de refractario de la unidad de fusión
No ser nocivo
Tener baja presión de vapor
No ser higroscópico
Barato y fácilmente reciclado a bajo costo
Baja viscosidad , menor a 2 centipoises
Separarse limpiamente del metal

La tabla VIII resume los fundentes más usados en la fundición de Aluminio y sus aleaciones⁽⁷⁾. En esta tabla se puede observar que la mayoría de fundentes para la fusión y tratamiento del aluminio son a base de flúor y cloro.

TABLA VIII. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS MATERIALES USADOS COMO FUNDENTES PARA ALEACIONES DE ALUMINIO.

MATERIAL	FORMULA	DENSIDAD (SOLIDO) g/cm ³	PUNTO DE FUSIÓN (°C)	PUNTO DE EBULLICIÓN (°C)
Cloruro de Aluminio	AlCl ₃	2.44	190	182.7*
Fluoruro de Aluminio	AlF ₃	3.07	1040	---
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇	2.36	741	1575
Cloruro de Calcio	CaCl ₂	2.51	741	1600
Fluoruro de Calcio	CaF ₂	3.18	1360	---
Carnalita	MgCl ₂ ·KCl	1.60	487	---
Cloruro de Zinc	ZnCl ₂	2.91	262	732
Fluoruro de Zinc	ZnF ₂	4.84	872	---
Criolita	3NaF·AlF ₃	2.97	1000	---
Cloruro de Litio	LiCl	2.068	613	1353
Fluoruro de Litio	LiF	2.295	870	1676
Cloruro de Magnesio	MgCl ₂	2.325	712	1412
Fluoruro de Magnesio	MgF ₂	3.00	1396	2239
Cloruro de Potasio	KCl	1.984	776	1500
Fluoruro de Potasio	KF	2.48	880	1500
Borato de Potasio	K ₂ B ₂ O ₄	---	947	---
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	2.662	1076	---
Cloruro de Sodio	NaCl	2.165	801	1413
Fluoruro de Sodio	NaF	2.79	980	1700
Carbonato de Potasio	K ₂ CO ₃	2.29	891	---

* Sublima a la Temperatura Indicada.

En la industria del Aluminio secundario es muy importante el uso de fundentes, ya sea del tipo protectores, escorificantes o de limpieza. Como se mencionó anteriormente, existen varios tipos de fundentes. fabricados principalmente de sales de Flúor o Cloro mezclados con aditivos para inducir propiedades especiales.

Debido a que hay muchas variables a considerar en la fusión de chatarra de Aluminio, es importante hacer la selección de un fúndente adecuado, considerando los siguientes aspectos :

TEMPERATURA DE TRABAJO: El fúndente protector, para las Temperaturas de trabajo utilizadas deberá estar fundido y tener fluidez aceptable para mejorar la reactividad y para su fácil y total remoción. Pero las altas Temperaturas de trabajo promueven condiciones de oxidación y absorción de hidrógeno en el baño metálico, provocando mermas y sopladuras en las piezas si no se elige un fúndente protector adecuado.

TIPO DE HORNO DE FUSIÓN: Es muy importante saber el tipo de horno y con ello las condiciones que prevalecerán durante el proceso de fusión. Condiciones como atmósfera, contacto o no con el combustible y/o productos de combustión, agitación, ataque a paredes de refractario, dan la pauta para elegir la composición del fúndente.

TIPO Y FORMA DE LA ALEACIÓN: Es necesario conocer la composición química de la aleación, ya que existen aleaciones que son propensas a oxidarse rápidamente (las que tienen altos contenidos en Mg, >2%). Algunas veces se requiere eliminar Mg, inclusiones, hidrógeno disuelto, o modificar la estructura de el silicio (tanto en aleaciones hipo o hipereutéctico), por lo que el uso de determinados fundentes puede inhibir o propiciar estos procesos.

En la tabla IX⁽²⁰⁾ se muestran los efectos sobre fluidez, humectabilidad y reactividad de los principales ingredientes utilizados como mezclas de fundentes.

TABLA IX. EFECTOS DE ALGUNOS INGREDIENTES USADOS EN LAS MEZCLAS DE FUNDENTES.

COMPUESTO	FLUIDIZADOR/ ESPEZADOR	ACTIVIDAD QUÍMICA	EXOTÉRMICO	GAS LIBERADO	ELEMENTO AÑADIDO
AlF_3	F	Si	No	No	No
CaCl_2	F	No	No	No	No
MgCl_2	F	No	No	No	No
MnCl_2	F	Si	No	No	No
KF	F	No	No	No	No
NaF	F	No	No	No	Sodio
NaCl	F	No	No	No	No
KCl	F	No	No	No	No
CaF_2	E	No	No	No	No
Na_3AlF_6	E	No	No	No	No
Na_2SiF_6	E	No	No	No	No
KNO_3	Sin efecto	Si	Si	No	No
C_2Cl_6	Sin efecto	Si	No	Cl_2AlCl_3	No
K_2CO_3	Sin efecto	Si	No	CO_2	No
Na_2CO_3	Sin efecto	Si	No	CO_2	No
K_2TiF_6	Sin efecto	Si	No	No	Titanio
KBF_4	Sin efecto	Si	No	No	Boro

La concentración de óxidos afecta considerablemente la viscosidad del fundente inhibiendo su efecto de coalescer gotas de Aluminio.

En cuanto a la forma, es necesario recordar que cuando la carga es introducida en fragmentos y finos, tiende a oxidarse prontamente, pues la carga tiende a permanecer en la superficie del baño, lo mismo sucede con cargas con alta relación área superficial/volumen.

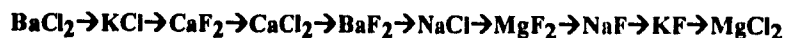
EMANACIONES Y MANEJO DEL FÚNDENTE: La mayoría de los fundentes generan contaminantes gaseosos, y algunos contienen ingredientes venenosos, por lo que se requiere su manejo especial. Por otra parte, muchas y variadas reacciones ocurren cuando son introducidos los fundentes⁽²¹⁾, o pueden liberar gases tóxicos, como por ejemplo AlCl_3 , por tal motivo el tiempo de contacto entre fundente y

Aluminio debe ser restringido (suficiente para lograr la separación de la capa de óxido del líquido). Además casi todos los ingredientes de los fundentes son higroscópicos o pueden tener moléculas de agua unidas químicamente lo que podría provocar explosiones o porosidad, por lo que deberán estar perfectamente secos al momento de emplearlos.

ECONOMÍA: Los fundentes son generalmente de bajo costo, las cantidades empleadas son pequeñas (se recomienda una relación de 2% en peso de la carga como fúndente⁽²²⁾), pueden ser preparados a partir de productos de pureza técnica molidos y mezclados en forma de polvo fino. El método de aplicación común de los fundentes protectores es manualmente, agregándolo sobre la superficie del baño, por lo que no requiere de equipo sofisticado para su alimentación.

La literatura recopilada indica que no hay muchos estudios que utilicen la ciencia moderna de la química superficial, la cinética y la termodinámica química en el área de interacción del fúndente con los óxidos en presencia de Aluminio líquido, más bien, los desarrollos y cambios en la química del fúndente están basados en procedimientos de ensayo y error.

La afinidad de los haluros con Aluminio se incrementa de izquierda a derecha en la siguiente hilera de afinidad⁽²³⁾:



Ya que el fúndente protector no debe reaccionar con el Aluminio líquido, o al menos la reacción deberá ser mínima, los ingredientes del fúndente deberán seleccionarse del lado izquierdo de la hilera de afinidad.

Algunas indicaciones referidas al uso de fundentes relacionadas a la reactividad o no con elementos aleantes son:

Fundentes que contengan sodio no se deberán usar con aleaciones Al-Mg con el fin de evitar la descomposición y la consecuente contaminación con Sodio en el baño.

El sodio también no deberá ser usado en aleaciones hipereutécticas Al-Si refinadas con fósforo, debido a que fácilmente se forma el compuesto fosfuro de sodio provocando que el fósforo sea inefectivo como refinador.

Para aleaciones que contienen más de 2% en peso de Mg es recomendable el uso de fundentes que contengan MgCl_2 debido a su pequeña actividad frente a este elemento.

Investigaciones recientes⁽²⁴⁾ indican que la tensión interfacial entre Aluminio líquido y el fundente disminuye por la adición de fluoruros más que con cloruros, debido a que la actividad del fluoruro es más alta; esto ayudará, sin duda alguna, a la coalescencia de gotas de Aluminio,

COMPOSICIONES QUÍMICAS COMUNES DE LOS FUNDENTES PARA ALUMINIO:

Los objetivos principales de los fundentes protectores son: Prevenir la oxidación del baño actuando como una barrera entre el Aluminio líquido y la atmósfera que contenga oxígeno. Además debe evitar la penetración de Hidrógeno proveniente de distintas fuentes, ya que podría provocar, si se llegase a disolver en el líquido, problemas de porosidad en las piezas fundidas.

La mayoría de los fundentes son una mezcla de Cloruro de Sodio y Cloruro de Potasio. Esta mezcla forma un eutéctico con 44 % KCl y 56 % NaCl, tiene una Temperatura de fusión de 665 °C⁽²⁰⁾. Un fundente típico tiene partes iguales de Cloruro de Potasio y Cloruro de Sodio con 5-10 % de criolita o Fluoruro de Sodio; con una Temperatura de fusión de aproximadamente 607°C, para cuando se tiene 47.5% de KCl y 47.5% de NaCl y 5% de NaF; quienes forman un eutéctico ternario.

Otro fundente protector está basado en MgCl₂ y KCl que forma un eutéctico de bajo punto de fusión (425°C). O la carnalita, MgCl₂·KCl, con Temperatura de fusión de 485°C.

Otra mezcla típica a base de carnalita contiene 95% MgCl₂·KCl y 5% CaF. Se emplea también el fundente con 45% MgCl₂, 30% KCl, y 25% NaCl.

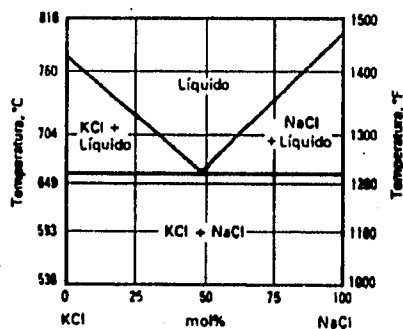
Otras mezclas ordinarias⁽²⁵⁾, tienen las composiciones siguientes:

25% KCl, 25% NaCl, 50% MnCl₂, utilizadas para eliminar Sodio presente.

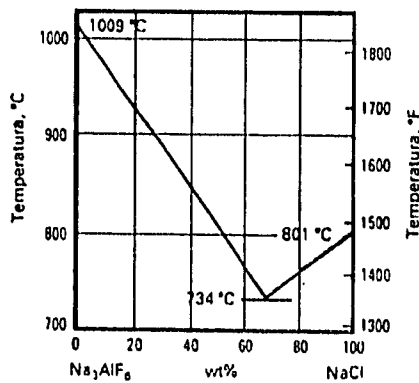
40% KCl, 40% NaCl, 20% AlF₃, 6, 40% KCl, 40% NaCl, 20% SiF₆Na₂, para eliminar Calcio.

A continuación se presentan los diagramas de fases de algunas mezclas comunes utilizadas como fundentes para aleaciones de Aluminio⁽⁷⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾.

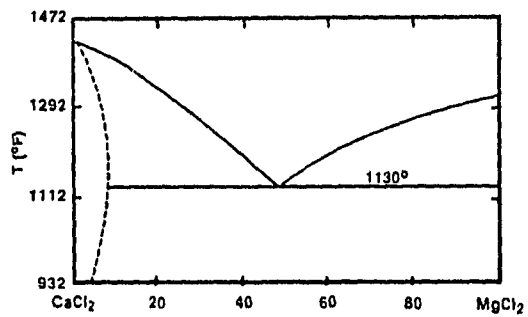
DIAGRAMAS DE FASES DE COMPUESTOS COMUNES UTILIZADOS COMO FUNDENTES.



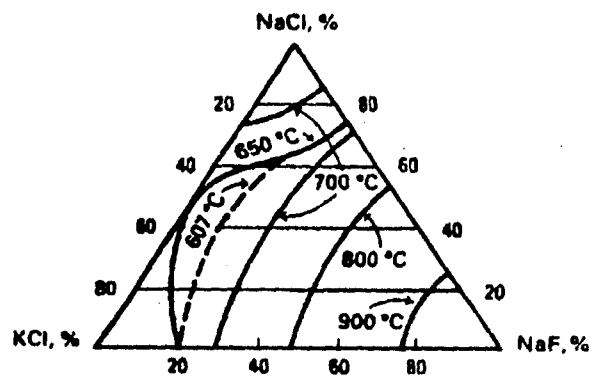
a) Diagrama de fases binario KCl-NaCl



b) Diagrama de fases Na₃AlF₆-NaCl



c) Diagrama de fases binario CaCl₂-MgCl₂



d) Diagrama de fases ternario NaF-KCl-NaCl

III.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Dentro de la fase experimental, se evalúa el comportamiento de los fundentes protectores y de limpieza más utilizados en los baños de Aluminio. La evaluación se basa en dos partes fundamentales. La primera parte consiste en la caracterización de las sales, en donde se determina la Temperatura de fusión y el porcentaje de volatilización de cada una de las mezclas.

En la segunda parte se desarrollan pruebas con metales (Chatarra de Aluminio en forma de lingotes y en forma de rebaba), en donde se analiza la recuperación y la calidad de la fundición obtenida.

Los fundentes utilizados en la realización de este trabajo se muestran en la siguiente tabla:

FUNDENTE No.	COMPOSICIÓN	% EN PESO	USO
F1	MgCl ₂	45	LIMPIEZA
	KCl	30	
	NaCl	25	
F2	KCl	50	COBERTURA
	MgCl ₂	50	
F3	KCl	47.5	COBERTURA
	NaCl	47.5	
	NaF	5	
F4	KCl	50	COBERTURA
	NaCl	50	
F5	MgCl ₂ · KCl	95	LIMPIEZA
	CaF ₂	5	
F6	KCl	25	LIMPIEZA
	NaCl	25	
	MnCl ₂	50	

III.1.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

PRIMERA PARTE

Para la determinación de la Temperatura de fusión de cada mezcla se realizó la siguiente metodología:

- * Preparación de 100 g de cada mezcla fundente.
- * Introducción de 50 g de cada mezcla en un crisol de Alúmina.
- * Fusión de la mezcla utilizando para ello un horno de inducción.
- * Obtención de la curva de enfriamiento para cada mezcla, con ayuda de un equipo de análisis térmico.

Para la determinación del porcentaje de volatilización se desarrolló la siguiente metodología:

- * Preparación de 500 g de cada fundente.
- * Introducción de 50 g de mezcla en un crisol de Alúmina en el interior de una mufla y elevar la temperatura de ésta durante 0.5, 1.0, y 1.5 horas, tal como lo presenta de manera general la tabla siguiente:

FÚNDENTE	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)
FX	$T_{f \text{ máx}} + 50^{\circ}$	0.5 , 1.0 , 1.5
	$T_{f \text{ máx}} + 100^{\circ}$	0.5 , 1.0 , 1.5
	$T_{f \text{ máx}} + 150^{\circ}$	0.5 , 1.0 , 1.5

- * El punto anterior se realizó para cada una de las sales.
- * Una vez logrado la Temperatura y el tiempo establecidos, la sal se retiró de la mufla y se dejó enfriar.

* Con ayuda de una balanza analítica se determinó la diferencia de pesos (inicial y final), para así obtener con los datos el porcentaje de volatilización.

SEGUNDA PARTE

En ésta parte se evaluó la influencia de las sales de prueba sobre los rendimientos y sobre la calidad de la fundición obtenida. La realización de la prueba se llevó a cabo para dos casos. En el primer caso se utilizó como materia prima lingotes de chatarra de Aluminio, y en el segundo, rebaba de Aluminio. Manteniendo para cada ocasión la misma técnica de fusión. Y la misma composición química de la chatarra para poder hacer una comparación.

En primera instancia se determinó la Temperatura de fusión de la chatarra a utilizar para precisar, con ello la temperatura de trabajo. Para lo anterior se tomaron dos muestras de aproximadamente. 100g de la materia prima, previamente homogeneizada por fusión, y se obtuvo su curva de enfriamiento mediante el uso de un equipo de análisis térmico.

La Temperatura de trabajo para ambos casos fue fijada a 700°C arriba de la Temperatura de fusión de la chatarra (con el propósito de trabajar a una Temperatura adecuada).

La cantidad de fundente utilizada, fue determinada tratando de mantener una capa constante de aproximadamente 5 mm de espesor sobre la superficie del baño de Aluminio líquido. Tomando en cuenta, para lograr dicho objetivo, los resultados de la prueba de volatilización de los fundentes.

La prueba en donde se utilizó lingotes de Aluminio como materia prima se desarrolló con la siguiente técnica:

FUSIÓN DE 1.5 Kg. DE LINGOTES DE Al

- Precalentamiento del horno de crisol.

- **Fusión del 50% de la carga.**
- **Adición de fúndente precalentado.**
- **Fusión del resto de la carga.**
- **Adición de fúndente hasta obtener una capa protectora de aproximadamente. 5 mm.**
- **Mantenimiento de la Temperatura de trabajo por 1 hr, conservando la capa de fúndente constante.**
- **Escorificado.**
- **Vaciado a lingoteras.**

Lo anterior se efectuó para cada fúndente.

En la realización de la prueba utilizando chatarra en forma de rebaba se desarrolló la siguiente técnica:

FUSIÓN DE 0.5 Kg. DE REBABA DE ALUMINIO.

- **Pre calentamiento del horno de crisol.**
- **Fusión del 50% de la carga.**
- **Adición de fúndente precalentado.**
- **Fusión del resto de la carga.**
- **Adición de fúndente hasta obtener una capa protectora de aproximadamente 5 mm.**

- **Mantenimiento de la Temperatura de trabajo por 1 hr, conservando la capa de fúndente constante.**
- **Escorificado.**
- **Vaciado a lingoteras.**

Lo anterior se efectuó para cada fúndente.

El análisis de la recuperación de Aluminio se realizó mediante la medición de la cantidad de metal introducida al horno y la obtenida después del proceso de fusión.

En la evaluación de la calidad de la fundición obtenida se realizaron análisis metalográficos de las piezas después de cada prueba. El análisis metalográfico consistió en la observación y cuantificación de la posible formación de poros provocados por el fúndente, o su incapacidad de protección, así también se determinó la posible presencia de inclusiones en el material debida a la acción del fúndente.

IV.- RESULTADOS

IV.1.- TEMPERATURAS DE FUSIÓN.

Los resultados obtenidos en la primera parte referentes a la determinación de temperaturas de fusión de las sales, se muestran en la tabla siguiente:

FÚNDENTE	RANGO DE TEMPERATURAS DE FUSIÓN. (° C)
F1	470.0 - 617.5
F2	435.0 - 620.0
F3	425.0 - 625.0
F4	635.0 - 667.5
F5	415.0 - 434.0
F6	405.0 - 607.5

IV.2.- PORCENTAJE DE VOLATILIZACIÓN.

Los resultados relacionados a la prueba de la determinación del porcentaje de volatilización se presentan enseguida:

El porcentaje de volatilización se obtuvo de la siguiente manera:

$$\%Volatilización = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

donde: p_i es el peso inicial de sal.
 p_f es el peso final de sal.

F1 $T_{f \text{ máx.}} = 617.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

	0.5 Hr*	1.0 Hr*	1.5 Hr*
667.5 $^\circ\text{C}$	29.52%	34.35%	40.33%
717.5 $^\circ\text{C}$	30.00%	35.61%	44.28%
767.5 $^\circ\text{C}$	31.48%	37.25%	52.82%

* Tiempo de permanencia a la cual se mantuvo la mezcla de sales.

F2 $T_{f \text{ máx.}} = 620.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

	0.5 Hr*	1.0 Hr*	1.5 Hr*
670.0 $^\circ\text{C}$	26.44%	42.19%	59.86%
720.0 $^\circ\text{C}$	38.23%	50.55%	70.44%
770.0 $^\circ\text{C}$	41.57%	54.33%	72.75%

F3 $T_{f \text{ máx.}} = 625.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

	0.5 Hr*	1.0 Hr*	1.5 Hr*
675.0 $^\circ\text{C}$	1.33%	4.20%	10.73%
725.0 $^\circ\text{C}$	5.09%	7.64%	13.53%
775.0 $^\circ\text{C}$	8.29%	10.38%	15.90%

F4 $T_{f \text{ máx.}} = 667.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

	0.5 Hr*	1.0 Hr*	1.5 Hr*
717.5 $^\circ\text{C}$	4.28%	16.40%	24.14%
767.5 $^\circ\text{C}$	4.80%	20.76%	31.17%
817.5 $^\circ\text{C}$	5.18%	23.46%	44.59%

F5 $T_{f \text{ máx.}} = 434.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

	0.5 Hr*	1.0 Hr*	1.5 Hr*
484.0 $^\circ\text{C}$	40.57%	42.17%	43.81%
534.0 $^\circ\text{C}$	40.89%	42.97%	44.38%
584.0 $^\circ\text{C}$	43.05%	45.02%	46.96%

Los resultados para la prueba del fundente F6, no fue posible obtenerlos debido a que la sal se filtro a través de las paredes del crisol que lo contenía, una vez que el fundente se encontraba fundido. Por lo que se tendrá que hacer uso de un crisol apropiado capaz de contener a la sal sin que esta se filtre durante la prueba.

Los resultados de la segunda parte se presentan en cuanto a rendimiento, porosidad, e inclusiones.

IV.3.- RENDIMIENTOS (RECUPERACIÓN)

La Temperatura obtenida de la chatarra de Aluminio utilizada como materia prima, en lingotes y rebaba, obtenida con la ayuda del equipo de análisis térmico, fue de 630 °C. Por lo cual, la Temperatura de trabajo fue $630\text{ }^{\circ}\text{C} + 70\text{ }^{\circ}\text{C} = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

TIPO DE CARGA: LINGOTES

Fúndente	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%) [*]
F1	1540	1520	98.70
F2	1460	1430	97.95
F3	1490	1460	97.99
F4	1500	1470	98.00
F5	1530	1490	97.39
F6	1500	1410	94.00

^{*} Rendimiento = $P_f / P_i \times 100$; P_i = peso inicial, P_f = peso final (recuperado).

TIPO DE CARGA: REBABA

Fúndente	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%) [*]
F1	500	420	84.00
F2	500	427	85.40
F3	500	445	89.00
F4	500	417	83.40
F5	500	347	69.40
F6	500	425	85.00

Es importante señalar que la cantidad de fúndente para formar una capa de 5 mm de altura sobre el baño se calculó en base a las dimensiones del crisol y la densidad promedio de los componentes.

Por ejemplo:

$$m_f = \rho_f \times A_c \times H_f$$

Donde:

m_f es la masa de fúndente.

ρ_f es la densidad promedio del fúndente.

A_c es el área superficial del crisol.

H_f es la altura deseada del fúndente.

Después se calculó la cantidad de fúndente requerida para mantener constante la capa apoyándose en los resultados de volatilización en cuanto a tiempo y Temperatura.

Cabe señalar que para todos los fundentes se requirió para la prueba $\pm 10\%$ del total de la cantidad previamente calculada para cada fúndente.

IV.4.- POROSIDAD

La porosidad de las muestras se determinó con ayuda de un analizador de imágenes (OMNIMET-DE BUEHLER), bajo las siguientes condiciones:

Nivel de detección = 350.

Aumentos = 50.

El valor presentado es el resultado promedio de un barrido horizontal y vertical a lo largo y ancho de la pieza analizada.

MUESTRAS DE LINGOTES COMO CARGA

Fúndente	% de Área
Sin fúndente	0.899
F1	1.391
F2	3.940
F3	0.143
F4	1.502
F5	2.099
F6	1.602

MUESTRAS DE REBABA COMO CARGA

Fúndente	% de Área
Sin fúndente	0.054
F1	0.048
F2	1.029
F3	0.292
F4	0.174
F5	0.063
F6	0.035

IV.5.- METALOGRAFÍA

Para cuantificar las inclusiones se observó al microscopio la muestra sin fúndente, que se tomó como referencia; y a partir de ésta se observaban las demás muestras. La cantidad de inclusiones presentes se determinó de manera comparativa, utilizando los términos baja, media y alta para cuantificarlas.

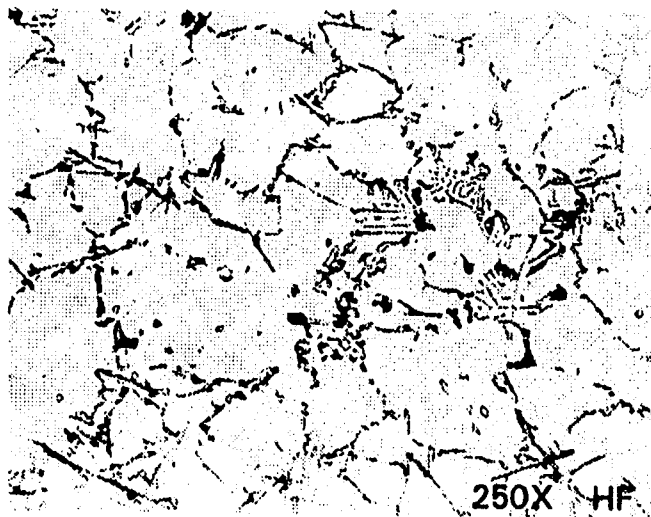
MUESTRAS DE LINGOTE COMO CARGA.

Fúndente	Inclusión Observada	Cantidad	Observaciones
Sin fúndente	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja media	
F1	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja media	
F2	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja alta	
F3	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja media	Silicio modificado
F4	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja media	
F5	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja alta	
F6	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	alta baja	Inclusión

MUESTRAS DE REBABA COMO CARGA.

Fúndente	Inclusión Observada	Cantidad	Observaciones
Sin fúndente	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	media alta	
F1	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja alta	
F2	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja alta	
F3	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	alta media	Silicio modificado
F4	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	alta media	
F5	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	baja media	
F6	Fe₂SiAl₈(Script) Fe₂Si₂Al₉	alta baja	Inclusión

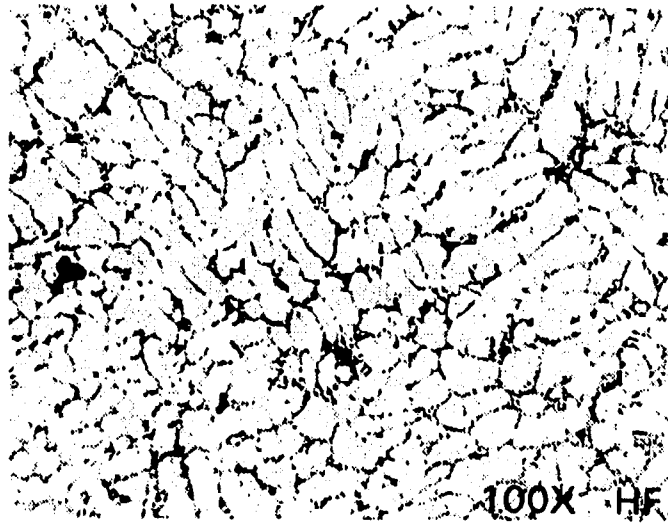
A continuación se muestran algunas fotomicrografías tomadas a las muestras obtenidas en las pruebas.



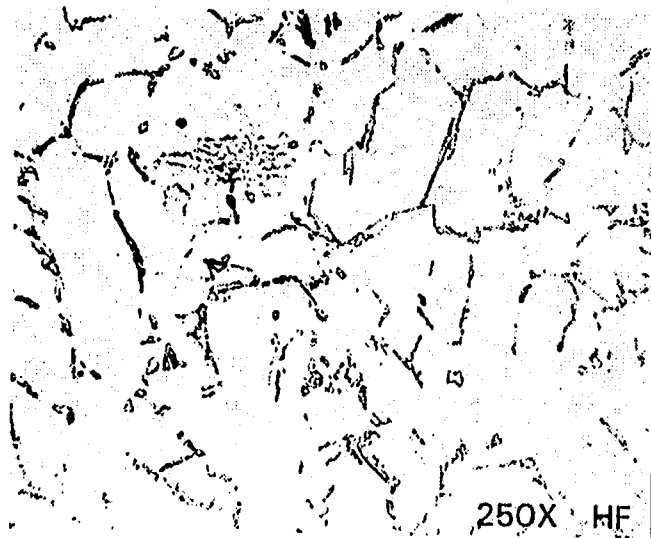
Fotomicrografía 1. Se muestra la inclusión Fe_2SiAl_9 (script) junto con $Fe_2Si_2Al_9$.



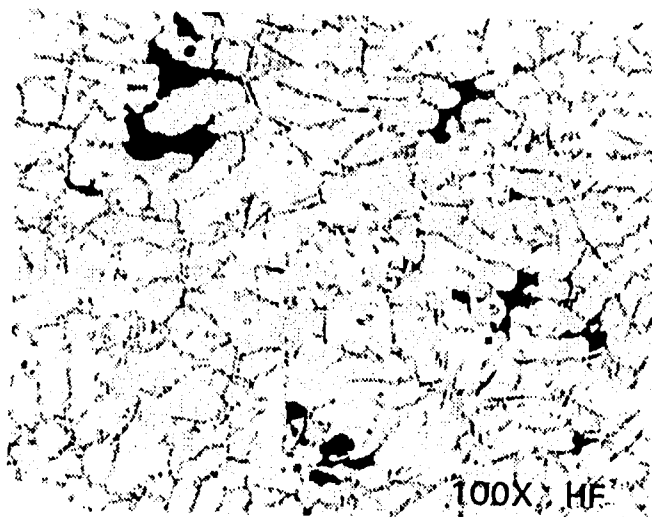
Fotomicrografía 2. Se muestra la inclusión script (Fe_2SiAl_9), un poro, y $Fe_2Si_2Al_9$.



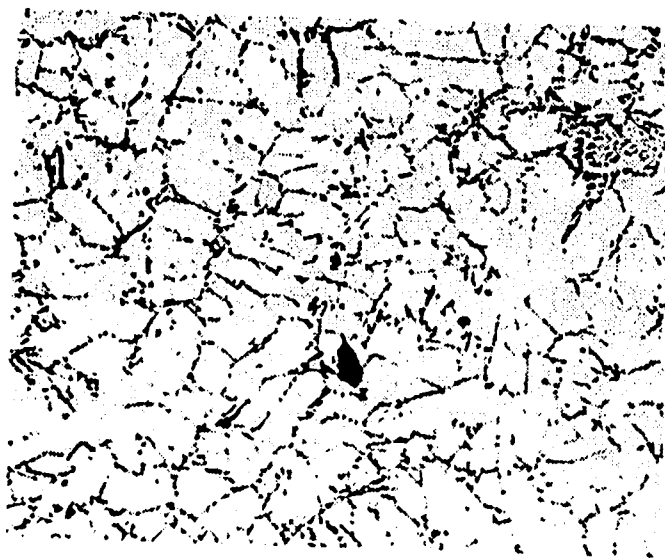
Fotomicrografía 3. Se puede observar la estructura de Si modificado obtenida por la adición de el fúndente F3.



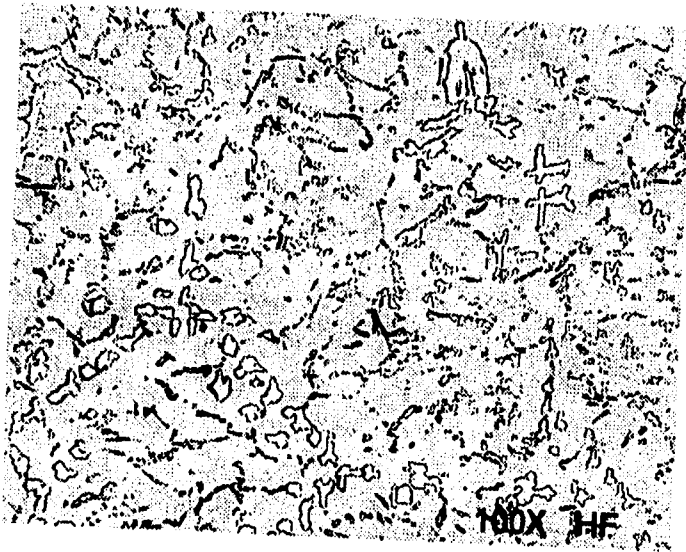
Fotomicrografía 4. Estructura sin poros que muestra la inclusión Fe_2SiAl_3 (script), y laminillas de Si.



Fotomicrografía 5. Muestra los poros obtenidos con la utilización del fúndente F2.



Fotomicrografía 6. Estructura obtenida de la muestra testigo utilizando lingote como carga. Se puede apreciar la estructura Fe_2SiAl_9 (script), poros, y algunas cantidades de $Fe_2Si_2Al_9$.



Fotomicrografía 7. Se puede observar las inclusiones formadas por la adición del fúndente F6

V.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Referente a los resultados obtenidos en la determinación de las temperaturas de fusión de las sales bajo estudio, se encontró que fueron rangos de temperaturas de fusión. De acuerdo a la literatura, los fundentes F3 y F4 son de composición aproximadamente eutéctica, lo que implica que tengan un punto de fusión. Lo que pudo dar origen a esta diferencia, se piensa que se debió principalmente al tamaño de partículas de las sales que constituían la mezcla. Es decir, para el caso del fundente F3, formado por NaCl, KCl y NaF, la presentación de el NaF era en polvo y las presentaciones de NaCl y KCl era en cristales. Lo anterior pudo ocasionar que al elaborar la mezcla existiese una heterogeneidad granulométrica, exceso de polvo (finos) en el fondo y exceso de cristales (gruesos) en la superficie. Aunque durante la preparación del fundente se mezclaron los componentes, tal vez la manera en que se mezcló no logró una total homogeneización de las sales. Provocando con esto una fusión temprana de algún componente de la mezcla con bajo punto de fusión, produciéndose su volatilización y causando una variación en la cantidad de componente en la mezcla, alejándose así de la composición eutéctica.

Otro factor que pudo contribuir a obtener un rango de Temperatura y no un punto, se puede atribuir a la higroscopicidad de las sales. Esto es, una sal es mas higroscópica que otra por lo que puede absorber humedad proveniente del medio ambiente. Al contener agua, los cristales de la sal se aglomeran y esto provoca que no exista una distribución homogénea de los componentes de la mezcla. Lo anterior pudo suceder para el caso del fundente F4.

Otra situación se presentó con el fundente F2. De acuerdo a la literatura la mezcla a base de $MgCl_2$ y KCl forman un eutéctico de bajo punto de fusión ($425\text{ }^{\circ}C$). Los resultados obtenidos para este fundente muestran que la mezcla comienza a ser líquida a $435^{\circ}C$ y ya lo es totalmente a $620^{\circ}C$. Esto es atribuible a que el Cloruro de Magnesio con el que se contó para este trabajo tenía unido químicamente moléculas de agua ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), lo que provoca una condición distinta a la teórica.

El objetivo de esta prueba fue identificar la Temperatura a la cual cada una de las mezclas se encuentra totalmente en estado líquido, no tanto comprobar que se cumplan los datos teóricos disponibles. Así pues, si se observa la tabla de resultados de

Temperaturas de fusión, encontramos que a la Temperatura de fusión del Aluminio o Temperaturas usuales de trabajo [700°C-800°C], todos los fundentes bajo estudio se encuentran en estado líquido, lo que significa que cumplen con una condición necesaria de las que deben cubrir los fundentes de cobertura.

En cuanto a la prueba de determinación de el porciento de volatilización de las mezclas se tiene el siguiente análisis:

En primera instancia se decidió realizar la prueba en muflas para conservar lo más constante posible la Temperatura de trabajo durante los tiempos requeridos. Además, se trato de mantener, para todas las pruebas, la puerta de la mufla entreabierta con el fin de evitar una atmósfera muy concentrada de los productos de volatilización que pudiesen dañar las resistencias eléctricas y también favorecer la salida de esos productos de volatilización para crear de algún modo condiciones mas reales. También se decidió realizar la prueba con las mezclas solas, sin metales; para evitar otras variables que pudieran alterar los resultados. El objetivo de esta prueba fue definir la volatilización de las sales en cuanto a Temperatura y tiempo. La prueba con el fúndente F6 no se pudo realizar debido a que la mezcla ya líquida se filtró a través del crisol. Los crisoles disponibles eran de Alúmina y con ellos no fue posible contener al fúndente. Lo que significa que el fúndente tiene alta fluidez o que puede penetrar estructuras a base de Alúmina poco compactadas. Para poder determinar la volatilización del fúndente se hace necesario la utilización de crisoles bien compactados. Con los resultados obtenidos se tiene una idea de la cantidad de fúndente que se pierde a un tiempo y a una Temperatura dada, lo que significa que podemos conocer la cantidad necesaria de fúndente a emplear durante el proceso de fusión. Pretendiendo con ello que al final de la fusión el fúndente se encuentre prácticamente agotado.

Con lo anterior se trata de evitar utilizar cantidades generalizadas de fúndente en función de la cantidad de la carga a fundir, lo que provoca frecuentemente, atrapamiento de inclusiones de escoria en las piezas fundidas debido a un inadecuado proceso de desescorificado, o a un mezclado del fúndente por las corrientes de convección.

Analizando los resultados de la segunda parte y en específico los referentes a los rendimientos utilizando como carga chatarra de Aluminio en forma de lingotes, cuyas dimensiones aproximadas eran 8 cm. de largo, 3 cm. de ancho y 3 cm. de alto, se encontró que los porcentajes de recuperación son elevados. Teniendo el fúndente F6 el menor rendimiento con 94 % y el fúndente F1 obtuvo el mayor rendimiento con 98.7 %. Revisando la literatura se halló que el fúndente F1 se utiliza como fúndente de limpieza de impurezas sólidas y en aleaciones que contienen Magnesio debido a la pequeña actividad de el fúndente frente a este elemento. Lo anterior aunado a que tuvo un adecuado poder cubriente sobre el baño metálico permitió obtener el resultado anterior. En cuanto al fúndente F6 con el que se obtuvo el menor rendimiento podemos decir que tiene un pobre poder cubriente provocando así la oxidación del Aluminio y/o aleantes. El uso común del fúndente F6 es para la eliminación de Sodio. Los fundentes F2, F3 y F4 comúnmente utilizados como fundentes de cobertura tuvieron rendimientos del orden de 98 %, y en estos casos no se logró mayores rendimientos principalmente porque pudo haber una interacción del fúndente y algún elemento aleante, específicamente Mg formando una escoria (espínela, $MgO_2 \cdot Al_2O_3$) que incrementa la viscosidad y densidad del fúndente provocando una merma en la recuperación. El fúndente F5 también tuvo un bajo rendimiento, 97.4 %, debido a su inadecuado poder cubriente, o baja capacidad de coalescencia bajo las condiciones de trabajo.

En cuanto a los resultados de rendimiento obtenidos en la prueba donde se utilizó rebaba como materia prima observamos que los rendimientos disminuyeron con relación a los obtenidos en la prueba con lingotes, debido principalmente a la presencia de impurezas en el material (provenientes del proceso de taladrado) y al tamaño partículas, que con su gran área superficial y baja densidad producen una elevada oxidación del material.

De acuerdo a los resultados de esta prueba, se determinó que con el fúndente F3 se obtuvo el mayor rendimiento, esto se debió a la presencia de fluoruro en su composición, el cual actúa como elemento que disminuye la tensión interfacial escoria-metal; tal como lo indica Roy⁽²⁴⁾. Esto significa que el Aluminio atrapado en la escoria podrá coalescer y fluir hacia el baño metálico mejor que si se tratase solo de cloruros.

El fúndente F6 alcanzó el rendimiento más pobre con 69.4 % lo que indica su baja eficacia como protector, y aunque contiene Flúor en su composición (CaF_2), es

claro que su capacidad para disminuir la tensión interfacial entre escoria y metal es casi nula. Mas bien el CaF_2 actúa como substancia espesadora (ver tabla IX) para facilitar el proceso de desescoriado, pero puede arrastrar cantidades apreciables de Aluminio metálico.

La variación en resultados de los fundentes restantes respecto a los obtenidos en la prueba de lingotes puede ser atribuida a la presencia de impurezas en la carga (aceites y óxidos), lo que no favoreció la acción de mojado del fúndente. Esto es, al existir impurezas, rápidamente se forma una capa de escoria que actúa como barrera entre el fúndente y el baño y de este modo se evita que el fúndente actúe adecuadamente e impide la coalescencia de más gotas de Aluminio.

Lo anterior se pudo apreciar perfectamente al analizar las escorias obtenidas en las pruebas, pues tenían, para todos los casos, una cantidad apreciable de Aluminio metálico atrapado.

Es evidente que los resultados obtenidos en rendimiento tanto para la prueba con lingotes como con rebaba son definitivamente satisfactorios para todos los fundentes empleados. Además, cabe señalar que existe la posibilidad de recuperar mediante algún método mecánico sencillo los valores de las escorias producidas, incrementándose con esto las cantidades de Aluminio recuperado.

Ahora bien, de los resultados logrados en la prueba de determinación de porosidad, se determinó que las posibles fuentes de Hidrógeno son:

- Herramental y/o materia prima húmedas.
- Atmósfera del horno.
- Fundentes húmedos.

Considerando que las pruebas, tanto en lingotes como en rebaba, se mantuvieron constantes Temperaturas de trabajo, atmósfera del horno, herramental y chatarra precalentados, es claro que lo que influyó de manera determinante en la obtención de los resultados fue la humedad contenida en las sales. En la Técnica de

fusión, se sugiere precalentar el fúndente y este punto se llevó a cabo calentando el fúndente antes de cada prueba a 200^o C por una hora. Durante la prueba el fúndente se colocó en un crisol tapado junto al horno para mantenerlo caliente. Aún con lo anterior, al momento de agregar el fúndente se escuchaba un chirrido, lo que indicaba que la sal aún contenía humedad. Aunado a lo anterior, es relevante señalar que el MgCl₂ con el que se trabajó contenía moléculas de agua unidas químicamente por lo que aún con el precalentado a 200^o C no fue posible eliminar totalmente esa agua presente.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto y para evitar la absorción de agua en las sales se sugiere, para aplicaciones prácticas, el empleo de una mufla que contenga cantidades predeterminadas de fúndente a una Temperatura adecuada, 200^o C- 300^o C, y hacer uso de esas porciones cuando se requiera durante el proceso de fusión. Así mismo, se requiere utilizar sales sin moléculas de agua unidas, pues se necesitará eliminar por completo esa agua presente.

También es evidente que la cantidad de poros disminuyó para el caso en que se trabajo con rebaba y esto pudo atribuirse a la escoria que se formó, la cual actuó como una barrera entre el fúndente y el baño evitándose así una solubilización mas severa de Hidrógeno.

Respecto al análisis metalográfico realizado en las piezas obtenidas en el ensayo donde se utilizó lingotes como materia prima, se puede ver de acuerdo a los resultados que sólo en el fúndente F6 se encontraron inclusiones distintas a las observadas en la muestra sin fúndente que sirvió de testigo. Estas inclusiones pudieron originarse por el Sodio presente en el crisol de trabajo o en la materia prima. Previo al ensayo con el fúndente F6 se habían realizado pruebas con los otros fundentes, y aunque se trataba de limpiar perfectamente el crisol antes de cada ensayo, pudieron quedar pequeñas cantidades de Sodio remanente del fúndente utilizado, lo que propició la formación de inclusiones, ya que el fúndente F6 tiene como uso principal la eliminación de Sodio.

Con el fúndente F3 se observó que el Silicio se modificó en un grado satisfactorio y esto se debió al exceso de Sodio. En este caso, como se discutió anteriormente, no se pudo lograr una homogeneización completa de los componentes

de la mezcla por el diferente tamaño de los cristales de KCl y NaCl y el polvo de NaF. provocando que existiese NaF libre, produciéndose así la modificación.

Cuando se trabajó con rebaba sucedieron cosas similares a las arriba expuestas. Aquí también se observaron inclusiones para el fundente F6 y Silicio modificado para el fundente F3.

Si se observan los resultados de la metalografía, se puede apreciar que los fundentes restantes no incorporan inclusiones en las piezas y que sólo varió el tipo de constituyentes a base de Fe-Si-Al, y su formación depende de la cantidad en que estos elementos solubles estén disponibles y la relación en que se encuentren.

VI.- CONCLUSIONES

- 1. La mayoría de las mezclas de sales bajo estudio se encuentran líquidas a Temperaturas de trabajo de cualquier aleación de Aluminio, lo que implica que se cubrirá plenamente la superficie del baño metálico a proteger.**
- 2. De gran importancia para la caracterización de las sales es determinar su volatilización, pues con esta podemos conocer la cantidad de sal que se requerirá durante el proceso de fusión, y así evitar que el metal líquido quede desprotegido, lo que causaría pérdidas del metal por oxidación o volatilización.**
- 3. Los rendimientos de metal obtenidos con las sales son aceptables. De acuerdo con el tipo de horno y a la técnica de fusión utilizados.**
- 4. La forma en que se introduce la chatarra así como las impurezas que pueda contener (óxido, aceites, etc.) influirán determinadamente en la cantidad de metal recuperado.**
- 5. Las sales utilizadas son muy higroscópicas, lo que puede conducir a la solubilización de Hidrógeno y posterior formación de porosidad (sopladura) en las piezas si no se tratan adecuadamente.**
- 6. Sólo el fúndente F6 promovió la formación de inclusiones en las piezas. (se determinó la aparición de inclusiones que no pudieron ser identificadas).**
- 7. No hay un fúndente universal, dependiendo su eficacia, de las distintas variables que pueden existir durante el proceso de fusión.**
- 8. El presente trabajo dará la pauta a los fundidores sobre algunos de los parámetros importantes para determinar el comportamiento de los fundentes y con ello seleccionar el más adecuado para un proceso de fusión determinado.**
- 9. Con la utilización de fundentes que favorezcan el incremento de los rendimientos en la recuperación de chatarras se estimulará su procesamiento y con ello se incrementarán los estudios y tecnologías de los aspectos que involucra la industria secundaria del aluminio.**

VII.- 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. 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*; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 533-543.
5. Neff, David V.; "The use of gas injection pumps in Secondary Aluminum metal refining"; *First international Symposium on recycle and secondary recovery of metals*; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 73-95.
6. 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.
7. ASM; Metals Handbook, Formerly Ninth Edition; Volume 15 *Casting*; USA; 1988.
8. Bowman, Kenneth A.; "ALCOA's Used Beverage Cans (UBC) Alloy separation process"; *First international Symposium on recycle and secondary recovery of metals*; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 429-443.
9. 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.
10. 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.
11. Pietsch, Wolfgang; "Briquetting of Aluminum Swarf for Recycling"; *Ligth Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 1045-1050.

12. Murphy, J.E. and Lukasko, J.J.; "Vacuum Distillation of Magnesium and Zinc from Aluminum Scrap"; *Light Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 1061-1065.
13. Herberston, J. Dimayuga, F. Harris, R.; "Vacuum Refining as a Process option in Recycling Aluminum Scrap"; *First international Symposium on recycle and secondary recovery of metals*; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 97-105.
14. 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.
15. 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.
16. Roth, David J. and Marmugi, Ugo; "Prensa para procesamiento de escoria"; *Memorias del tercer panel internacional del procesamiento del Aluminio*; Tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 91-95.
17. Cassells, Jenna M and Rusin, Patricia A.; "Removal and reuse of Aluminum dross solid waste"; *Light Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 1075-1081.
18. Kanicki, David P.; "Processing molten Aluminum -part 2-: Cleaning up your metal"; *Modern Casting*; Vol. 80; No. 2; (Febrero, 1990); pp. 55-58.
19. Peterson, Ray D.; "Effect of salt flux additives on Aluminum droplet coalescence"; *Second international Symposium. Recycling of metals and engineered materials*; The minerals, metals & materials Society; USA; (1990); pp. 69-84.
20. 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.
21. Crepeau, P.N. Cochran, B.P. Mulac, R.P.; "Solid Aluminum fluxing issues"; *Modern Casting*; Vol. 82; No. 8; (Agosto, 1992); pp. 36-37.
22. Flores V, Alfredo et al.; "Desarrollo de fundentes protectores para aleaciones de Aluminio líquidas"; *Moldeo y fundición*; pp.35-40.
23. Kogan, Michael H.; "Design and development of fluxing agents for the Aluminum foundry Alloys"; *Proceedings of 2nd. International Conference on molten Aluminum processing*; AFS; (1989); pp. 1-12.

24. 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.
25. Ingenieros del grupo Pechiney; *Enciclopedia del Aluminio. Metalúrgia estructural del Aluminio, fusión y colada de placas y tochos, fabricaciones anexas. Vol.2*; Ed. URMO; España; 1968.
26. Neff, David V.; "Chlorination technology in Aluminum recycling"; *Ligth Metals 1993*; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das; (1982); pp. 1053-1060.
27. Eckret, C. Edward. Jr.; "The origin and identification of inclusions in foundry Alloys"; *Proceedings of 3rd. International Conference on molten Aluminum processing*; AFS; (Noviembre, 1992); pp. 17-50.
28. Mondolfo, L.F.; Aluminum Alloys: Structure and properties; Ed. Butterworths; England; 1976.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**