



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**FABRICACIÓN DE UN HORNO ROTATORIO PARA LA
ELIMINACIÓN DE LA PINTURA Y LACA DE LOS ENVASES DE
ALUMINIO PARA BEBIDA, PREVIO A LA FUSIÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

P R E S E N T A:

ARTURO OGAZ CÓRDOVA



MÉXICO, D.F.

2006



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 Candido Atlatenco Tlapanco

Vocal Prof. Gerardo Arámburo Pérez

Secretario Prof. Adrián Manuel Amaro Villeda

1er suplente Prof. Balbina Ojeda Ramírez

2do suplente Prof. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo

Sitio donde se desarrolló el tema:

UNAM.
FACULTAD DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA
LABORATORIO DE FUNDICIÓN

Asesor del tema: I.Q.M. Adrián Manuel Amaro Villeda

Supervisor Técnico: Dr. José Alejandro García Hinojosa

Sustentante: Arturo Ogaz Córdova

DEDICATORIAS

A ti mamita chula, porque siempre has estado a mi lado y me has impulsado a salir adelante, por que siempre has tenido la palabra de aliento en tiempos difíciles, porque los logros y triunfos alcanzados son más tuyos, Eres lo que más quiero, te amo mamá.

A ti papá, porque me has enseñado que el mejor tesoro de esta vida es la educación, y la satisfacción no esta únicamente en llegar a la meta sino en el camino recorrido, porque siempre has estado un paso atrás de mí. Te admiro y te quiero mucho.

A ti Marce, por confiar en mí, por tu apoyo incondicional, porque pase lo que pase tu estas ahí. Y acuerdate hermana “ siempre pa lante, atrás ni pa tomar vuelo”. Te quiero.

A ti abue Graciela, por que siempre me has ayudado, y por tantas cosas y aventuras que hemos pasado juntos, gracias abue.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la gran oportunidad de haber estudiado en esta máxima casa de estudios y en especial a la Facultad de Química.

A mi asesor I.Q.M. Adrián M. Amaro Villeda. Por su gran dedicación y compromiso con este trabajo, por su ayuda y amistad, porque eres un gran amigo.

Al grupo de trabajo de Fundición: I.Q.M. Eusebio Cándido Atlatenco Tlapanco, Dr. José Alejandro García Hinojosa, I.Q.M. Ignacio Beltrán Piña, I.Q.M. Agustín Ruíz Tamayo, por sus consejos, su paciencia y su amistad.

A los miembros del jurado por su interés, sus comentarios y su tiempo

Al Dr. José Antonio Barrera por su amistad

Al M en C Antonio Huerta Cerdán, por su amistad, y por su interés en el desarrollo fuera de las aulas de muchos de nosotros.

A todas las personas que colaboraron con la realización de este trabajo, porque sin ustedes no hubiera sido posible, somos un gran equipo: Jaime Romero que eres mi hermano, Claudia, Don Gabriel, Mauro, Chucho, Paco, Lalo Jr, Alex, Memo.

A mis tíos Alfredo y Tomás por su apoyo incondicional, a ver si ya salen.

A la familia Camilo y Córdova, por su amistad

A la banda más picuda: Edgar, Israel, Octavio, Omar, Jesús, al Peje que son el mejor equipo que hay, acuérdense que siempre contarán conmigo.

A mi brother del alma Fernando Iván, "hasta siempre comandante"

A mis amigos y amigas de metalurgia, por su amistad y por los grandes tiempos y aventuras: Ale, Gaby, Erika (osa), Edith, las Claudias, Alexa, Carmen, Luisa, Lalo Tinoco (carnalito), Roberto, Gerardo "brother", Charly, Alberto Villegas, Oscar Cervín, Tin Tan, Hugo, Toño, el Cahuaman, Moy, Gabriel, Rafa, Luis, los Oscars, Abelardo, Mi brother Pablo, Campo Verde, Luciano y a todos los que me faltan.

A mis cuates del americano.

A mis amigos de la facultad, porque aunque la distancia nos separa siempre estamos juntos: Claus, Fabián, Sergio, Nacho, Elisa, Irak,

“Reciclar es el futuro del mundo, y debe ser prerrogativa de los gobiernos impulsar esta cultura y crear conciencia social en los pueblos, es imprescindible que a corto plazo haya legislaciones al respecto, que hagan obligatorio el reciclaje parcial o total de desperdicios, para su reutilización.”

Arturo Ogaz Córdova.

“Creo firmemente que el momento más extraordinario de cualquier hombre es aquél en que, después de haber puesto su alma en una buena causa, yace exhausto pero victorioso en el campo de batalla”

Vince Lombardi.

ÍNDICE

OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	
Ventajas de reciclar	4
El ahorro de energía en el reciclado	5
La facilidad del reciclado	5
El reciclado es una actividad rentable para todos	5
La amplitud de actividades para la recuperación y el reciclado	6
La limpieza del Medio Ambiente	6
El nivel tecnológico	6
Los productos del reciclado	7
Clasificación de la chatarra de aluminio	8
Aluminio primario y secundario	8
Clasificación del aluminio de acuerdo con su destino	10
Materiales de desecho que contienen aluminio	12
Procesos de reciclado	16
Proceso ALCOA	16
Descripción del problema	16
Fundamentos teóricos del proceso ALCOA	20
Proceso sin separación de aleaciones	23
Reciclado de aluminio en Suecia	24
Recolección y transporte a la planta de reciclaje.	25
Pretratamiento de separación de chatarra de lata de aluminio previo a la fusión	26
Secado y deslacado	26
Fusión	28

Recubrimientos	28
Efecto de los recubrimientos (VOC)	30
Consideraciones ambientales	31
Factores asociados con la contaminación del aire	31
Monóxido y dióxido de carbono	32
Total de partículas en suspensión (TPS)	32
Óxidos de nitrógeno	33
Óxidos de azufre	33
Emisiones en la operación de deslacado	33
Tratamiento del gas de salida del horno	34
Eco-perfiles son requeridos	35

CAPITULO II. DISEÑO DEL HORNO ROTATORIO

El horno rotatorio	37
Diseño	38
Horno rotatorio	39
Base del motor	40
Quemador	41
Base inferior del horno y sistema hidráulico	42
Base superior	43

CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Diseño de experimentos	45
-------------------------------	-----------

Diagrama de flujo del desarrollo experimental	47
Procedimiento experimental para la determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida	48
Procedimiento experimental para determinación de la carga del horno rotatorio	49
Procedimiento experimental para las pruebas tipo batch	50
Procedimiento experimental para pruebas de tipo continuo	51
Procedimiento experimental para la obtención de la granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch.	52
Procedimiento experimental para determinación del consumo de gas del horno rotatorio en condiciones de operación	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	
Determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida.	54

Determinación de la carga del horno rotatorio	55
Pruebas tipo batch	55
Pruebas tipo continuo	56
Granulometría de las pruebas tipo batch y tipo continuo	65
Determinación del consumo de gas del horno rotatorio en condiciones de operación	70
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
Determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases para bebida	72
Pruebas tipo batch	72
Pruebas de tipo continuo	73
Granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch	76
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80

INTRODUCCIÓN

El aluminio es un material metálico que es ampliamente utilizado en la actualidad. Sin embargo, existen algunos problemas críticos como la disponibilidad, el precio, la calidad, aspectos ecológicos y de impacto ambiental, que obligan a las industrias a implementar nuevas tecnologías para su producción. El reciclado de lata de aluminio es una opción.

Existen diversos procesos para reciclar lata de aluminio, enfocados principalmente a la producción de nueva lata, afectando lo menos posible al medio ambiente. Los procesos más conocidos son: el ALCOA utilizado en Estados Unidos principalmente; un proceso sueco desarrollado por Lage Knutsson and Gösta Sjöberg; y por último un proceso parecido al ALCOA pero donde no se observa la separación de las aleaciones constituyentes de los envases de aluminio, como en los dos casos anteriores.

La problemática abordada, es el estudio del reciclado de lata de aluminio. El problema con los procesos más usados en México, es el alto índice de desperdicio de material, debido a el gran volumen de escoria producida (problema que se origina por la enorme cantidad de pintura y basura que se encuentra en la lata, previamente a la fusión y que no son eliminadas con anterioridad).

Con el fin de mostrar a la industria del reciclado de aluminio en México que es posible procesar lata de aluminio de manera rentable, ecológica y de forma segura minimizando el manejo de residuos peligrosos; se diseñó y fabricó un horno rotatorio para el deslacado y triturado de latas de aluminio previo a la fusión.

Se realizaron pruebas con el equipo para determinar las condiciones de operación, encontrando que funciona adecuadamente para éste propósito.

Como Ingeniero Químico Metalúrgico es necesario involucrarse directamente en este tipo de problemáticas, proponiendo soluciones que beneficien nuestra economía y respetando el medio ambiente.

OBJETIVOS

- *Diseñar y fabricar un horno rotatorio para el proceso de deslacado del envase de aluminio para bebida.*
- a) *Determinar los parámetros de operación de dicho equipo (Temperatura, capacidad de carga, tiempo de residencia, consumo de gas).*
- b) *Evaluar el producto obtenido, para determinar si el proceso propuesto es viable desde el punto de vista práctico*
- *Mostrar la importancia del reciclado del envase de aluminio en la actualidad como fuente de “materia prima” para la fabricación de nuevos productos*

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Ventajas de reciclar

El reciclado de un material es una alternativa que existe para dañar lo menos posible el medio ambiente, y no vernos rodeados de inmensas cantidades de chatarra y residuos. Si además sucede que se trata de una actividad rentable, y aplicada a un material moderno de gran futuro, será mucho mejor. En el caso del aluminio, la industria del reciclado se ha desarrollado además, con la consideración de una serie de ventajas que se enumeran a continuación:

En Europa, el aluminio presenta tasas de reciclado altas, que oscilan entre el 42 % en las latas de bebidas, el 85% en la construcción y el 95% en transporte. Debido a que este material puede reciclarse indefinidamente, sin merma de su calidad (si se hace con las técnicas adecuadas), por su valor mercantil, existen estímulos naturales fuertes para recuperar y reciclar los productos de aluminio después de su uso. En la actualidad, existen sistemas globales de recuperación del aluminio usado en los principales países europeos. Los porcentajes indicados anteriormente vienen a significar una producción anual de 1,9 millones de toneladas de aluminio reciclado en Europa. El 32% de la demanda de aluminio europeo procede de material reciclado. La mayor parte del aluminio reciclado se consume en el sector del transporte. Otros mercados importantes son el diseño industrial, el envasado y la construcción. [1]

El ahorro de energía en el reciclado

El metal se considera como un almacén de energía (15 Kwh/Kg). Tiene un gran valor intrínseco que no puede desperdiciarse, y su reciclado significa recuperación de energía. La producción de aluminio reciclado consume sólo un 5% de la energía necesaria para la producción de aluminio primario. Esto significa que, aprovechando los recursos metálicos secundarios disponibles, se pueden obtener piezas metálicas a un costo menor. Además se consiguen las ventajas medioambientales de este menor consumo energético.

La facilidad del reciclado

La producción de aluminio reciclado no es una tecnología complicada, por lo que se ha extendido hasta ser en promedio el 30-35% de la producción de aluminio primario, estimada en todo el mundo en 22 millones de Ton / año. El reciclado ha aumentado el 30% en los últimos 10 años, contribuyendo con su crecimiento a la limpieza del Medio Ambiente y al ahorro energético. En un país como Alemania se reciclan 8.1 Kg por habitante al año y España produce del orden de 150,000 toneladas anuales, lo que supone reciclar 3.7 Kg por habitante al año.

El reciclado es una actividad rentable para todos

Desde el ángulo del consumidor, la separación de materiales con aluminio es rentable, al mismo tiempo que el medio ambiente resulta mejorado. No se deben tirar indiscriminadamente los materiales de aluminio porque tienen valor, y alguien en algún lugar cercano se ocupará de su reciclado. Existen distintas empresas privadas cuya función es organizar su recolección.

La amplitud de actividades para la recuperación y el reciclado

Existe un amplio espectro de actividades industriales que se denominan centros de acopio, chatarreros, plantas de tratamiento, gestores de residuos, refinerías, etc. Por este motivo, nos referimos a un sector en el que participan muchas personas, desde técnicos de alto nivel, hasta chatarreros. Además, se generan puestos de trabajo adicionales de manera indirecta.

La limpieza del Medio Ambiente

Las empresas de reciclado contribuyen a la limpieza del medio ambiente, retirando chatarras y residuos que afectan a la calidad medio ambiental. También se contribuye con el ahorro de energía, vinculado tanto a la producción del metal como a su utilización para fabricar partes automotrices, haciendo más ligeros los vehículos y reduciendo el consumo de combustible. Muchas de las empresas tienen homologada su actividad con las normas de la serie ISO 14.000, de excelencia en la gestión del medioambiente. El objetivo de la norma es que se eviten residuos de proceso, con la mejora continua de la tecnología, lo cual necesita realizarse de forma habitual.

El nivel tecnológico

La separación de materiales, las técnicas de reciclado, la piro metalurgia del aluminio, son ramas de la tecnología que se han desarrollado y tecnificado extraordinariamente, para ponerlas a disposición de nuevos recicladores. Los desarrollos alcanzados son una parte de la tecnología de algunas empresas, que venden y exportan plantas o equipos industriales, contribuyendo a la multiplicación de la riqueza.

Los productos del reciclado

El aluminio secundario se produce en muchas formas y se emplea en un 80% para aleaciones de inyección. Otra aplicación importante es la extrusión. En consecuencia, la sustitución de los productos de primera fusión por los de segunda, es una necesidad en el campo de las aleaciones de forja y de moldeo. Además de ser más baratos, los productos secundarios son tan buenos como los primarios. Tienen también las certificaciones ISO 9000 e ISO 14000.

Tabla 1. Los principales productos del reciclado de aluminio [1]

PRODUCTOS	MERCADO
Lingotes pequeños	Fundiciones de aluminio
Lingotes grandes	Empresas de aluminio
Metal líquido	Fundiciones de aluminio
Tochos	Extrusión del aluminio
Discos	Extrusión del aluminio
Hilo, granalla, formas	Desoxidación del acero
Sales	Fundición de aluminio, carreteras
Polvos metálicos	Siderurgia
Oxido de aluminio	Cemento, construcción, siderurgia
Otros	Chatarras de otros metales

Comparando la perspectiva que ofrecen los distintos materiales, puede decirse que la industria del acero o del cemento son de mayor potencial económico que la del aluminio,

pero sin este no podrían funcionar los aviones actuales y los coches no serían tan prácticos, entre otros muchos ejemplos. En resumen, el aluminio forma parte de la cultura material de nuestra civilización y, específicamente, de su industria, por lo que debemos hacer conciencia de su utilidad y de los nuevos campos de aplicación. [1]

La industria del aluminio reconoce varias ventajas que ha traído el reciclaje de envases para bebida de aluminio. La principal razón técnica es que refundir los envases requiere únicamente el 5% de la energía necesaria para producir nuevos envases a partir de la bauxita. El reciclado ha prevenido que las latas se conviertan en un problema posterior.

Los progresos en la tecnología del reciclado de envases de aluminio para bebida han ayudado al establecimiento y desarrollo de normas y leyes para regular la manufactura y venta de los envases de aluminio para bebida (E.U. y Europa).

La separación de los envases de los desechos municipales sólidos, también reduce la carga hacia los rellenos sanitarios. En adición, las instalaciones para recuperar metal de los envases reciclados de aluminio pueden ser construidas a bajos costos, en comparación con los requeridos para la construcción de nuevas plantas de aluminio primario. Los centros locales de reciclado proveen de empleo a miles de personas y retornan millones en divisas (dólares, euros, yen) a las economías locales. [2]

Clasificación de la chatarra de aluminio

Aluminio primario y secundario.

El hombre en la búsqueda constante de elementos que faciliten su vida, descubrió la posibilidad de sustituir algunos materiales por otros que fueran más adecuados al propósito de la satisfacción de sus necesidades.

El aluminio no es la excepción, debido a sus excelentes cualidades (resistencia mecánica, maleabilidad, ductilidad, gran resistencia a la corrosión, conductividades térmica y eléctrica elevadas, no presenta magnetismo, no es tóxico, etc.). El aluminio puede utilizarse en un sin número de procesos para la obtención de una gama extensa de productos.

Originalmente, la explotación de recursos minerales no renovables y su transformación fue la vía adecuada para la obtención de diversos metales. A estos se les acotó con el nombre de “primarios”. En el caso específico del aluminio, la bauxita transformada en alúmina, y esta a su vez procesada obteniendo aluminio, ejemplifica el concepto de ALUMINIO PRIMARIO.

A partir de la segunda década del siglo XX y con la aceleración de los procesos industriales en cadena, la necesidad creciente de metales ferrosos y no ferrosos, hizo surgir con fuerza el requerimiento de un mayor abastecimiento de estos. Introduciéndose entonces el concepto de “reciclaje” o “recuperación”, aplicándose a partir de ese momento el término de ALUMINO SECUNDARIO. De ese reciclaje o recuperación se obtuvo nuevamente metal utilizable, hasta conseguir un amplio porcentaje de usos en relación a la cantidad de productos fabricados con aluminio primario. [3 pag-28]

Al mismo tiempo que la industria del aluminio crecía, el negocio del reciclaje de algunos empresarios fue incrementándose, a la par que aplicaban tecnología de bajo costo a sus operaciones de recuperación de chatarra, lo hacían con un bajo riesgo para sus finanzas.

Después de la segunda guerra mundial la industria del aluminio sufrió un crecimiento explosivo y la industria secundaria comenzó a utilizar tecnología más sofisticada. Cuando la industria primaria se unió a la tarea de reaprovechar chatarra vieja a mediados de los sesentas, tuvo que desarrollar métodos avanzados de recolección, preparación y refusión, con la consigna de ser competitivos frente a los bajos costos de la industria secundaria. En

el momento que la industria primaria empezó a reciclar más del 50% de los envases de aluminio para bebida de los E.U. y llegó a producir nueva hoja para el cuerpo de la lata, “cierra el ciclo”; paralelamente la industria secundaria “se integra hacia atrás” produciendo productos terminados de laminación, eliminándose las fronteras entre ambas industrias. Se dio pues un realineamiento de la infraestructura de las industrias, originado por la conjunción de fuerzas como el aumento en los costos energéticos, la mayor escasez de recursos naturales, y el impacto de diversas cuestiones ambientales. [5]

Se han hecho desde entonces grandes desarrollos tecnológicos para enfrentar los nuevos retos que demanda la generación de nuevos productos.

Clasificación del aluminio de acuerdo con su destino

De acuerdo con el destino del aluminio, ya sea primario o secundario, la industria estableció tres grandes grupos de clasificación:

A) EXTRUSIÓN

B) LAMINACIÓN

C) FUNDICIÓN

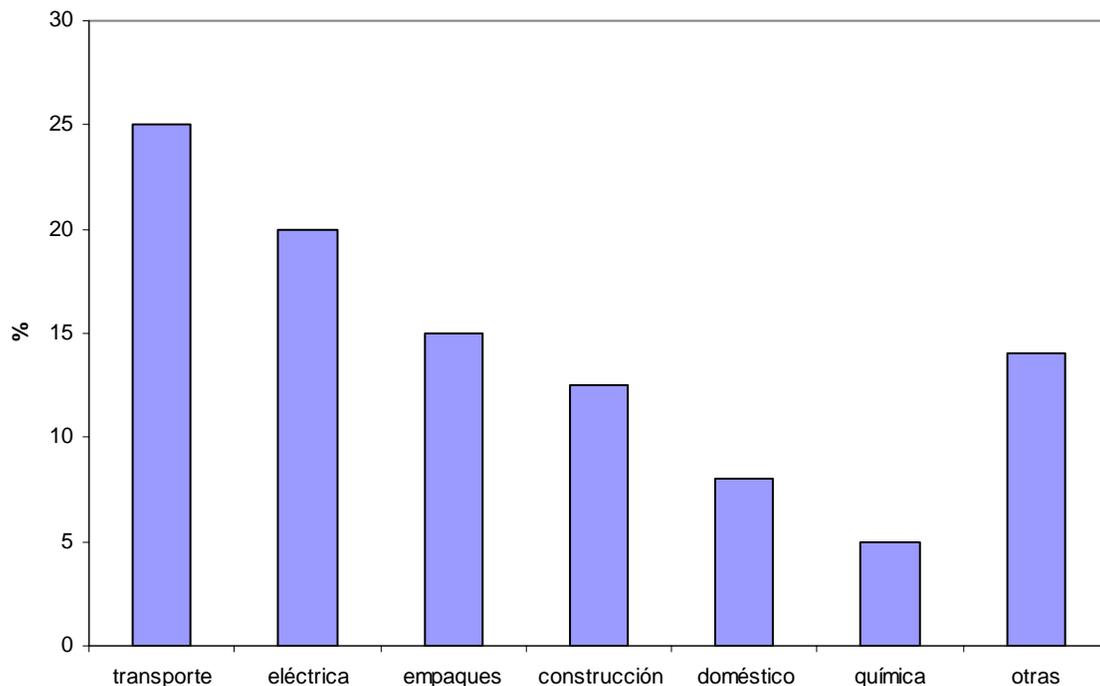
En el grupo A, se incluyen artículos o productos para las industrias de la construcción, transporte, electricidad, línea blanca, principalmente en forma de barras, perfiles y tubos.

En el grupo B, se incluyen de igual manera productos para las siguientes industrias: construcción, transporte, electricidad, línea blanca, y se agregan la industria litográfica, y la del envasado de alimentos y bebidas, evidentemente por tratarse de lámina y chapa de aluminio.

En el grupo C, la estadística nos muestra que se trata del grupo clasificatorio que en nuestro país involucra el mayor tonelaje. Lo anterior se explica por la amplia gama de productos de aluminio fabricados por procesos de moldeo, principalmente, en arena, inyección o molde permanente. [4]

Uno de los destinos más importantes de la industria de la fundición es sin duda, la industria automotriz. Según estadísticas reveladas por uno de los principales productores de aluminio de los E.U. los usuarios finales de las piezas de aluminio son:

Gráfica 1. Usuarios de piezas fundidas de aluminio [3 pag-30]



Debemos tomar en cuenta el hecho de que desde hace más de 25 años, por diversos factores, principalmente el ahorro de energéticos, la industria automotriz ha estado buscando la manera de reducir el peso de los vehículos, y el modo que encontró fue la sustitución de piezas de acero o hierro, por partes fabricadas de aluminio. [3]

Materiales de desecho que contienen aluminio

Antes de proceder a examinar los diferentes materiales que contienen aluminio es necesario precisar algunas definiciones. Una primera o básica es el concepto de “basura” o desechos, que no es más que un grupo de materiales mezclados que no presentan ninguna utilidad.

Por convención se consideran tres tipos de chatarra:

- “Chatarra interna” es la que se produce dentro de las plantas de producción: lingotes descartados, alimentadores, cortes, material de rechazo, etc. y que normalmente se recicla en la planta y rara vez aparece en las estadísticas.
- “Chatarra nueva” que es la producida por los usuarios del metal semi terminado, e incluye limaduras, rebabas, perforaciones y recortes.
- “Chatarra vieja” llamada también obsoleta, que es la generada por los productos que han completado su vida útil, por ejemplo latas de aluminio, automóviles, carcazas, baterías usadas, etc.

Por otra parte, es necesario apuntar aquí que el aluminio presenta grandes ventajas sobre otros materiales al reciclarse adecuadamente, ya que su calidad no sufre decrementos.

En el caso del aluminio, la clasificación de los principales grupos de chatarra vieja industrial es:

- fundición vieja
- lámina vieja
- aluminio con hierro

- latas viejas
- radiadores viejos

y las mayores fuentes de esta chatarra son:

- automóviles
- aparatos y muebles eléctricos
- latas y recipientes usados
- camiones, aviones, barcos y edificios.

Por otra parte la chatarra vieja que no tiene origen industrial, se le agrupa como chatarra municipal. Básicamente se consideran tres fuentes:

- chatarra de compañías locales
- chatarra separada en los lugares de relleno en las estaciones de reciclado de basura
- chatarra de lata.

Una fracción no considerada aquí, pero de gran importancia es la chatarra de empaque contenida en los residuos domésticos. [4]

Tabla 2. Tipos clasificados de chatarra de aluminio norma americana (NARI NF-85) [4]

1. recortes de aluminio puro	18. retornos de rebaba y viruta de aluminio sobrantes
2. sólidos y recortes de aluminio con bajo contenido de cobre	19. rebaba y viruta de aluminio mezcladas.
3. mezcla de hoja vieja de aleación de aluminio	20. castings de aluminio mezclados
4. trozos de hoja y hoja de utensilios de aluminio	21. restos de hoja de aluminio para avión
5. aluminio nuevo para cuerpo de lata	22. lamina de aluminio nueva
6. aluminio reciclado para lata	23. lamina de aluminio vieja
7. aluminio usado despedazado, chatarra de latas	24. molienda de aluminio
8. embalaje de aluminio usado	25. escorias, salpicaduras, granalla, barreduras
9. perfil pintado	26. aluminio dulce
10. chatarra con cubierta o pintada	27. retornos en forma de recortes y sólidos de aleación de aluminio nuevo
11. radiadores de aluminio cobre	28. mezcla de recortes y sólidos de aleación de aluminio nuevo
12. nódulos de aluminio E.C.	29. retornos de extrusiones, forja, y castings de aluminio
13. cable y alambre nuevo de aluminio puro	30. piezas automotrices de aluminio
14. cable y alambre de aleación de aluminio	31. chatarra de cable de aluminio aislado
15. cable y alambre viejo de aluminio puro	32. castings de aluminio para aviación
16. cable y alambre viejo de aleación de aluminio	33. chatarra de aluminio fragmentada
17. pistones de aluminio	

De la clasificación anterior, se puede inferir que son variadas las fuentes de chatarra de aluminio, y debido a esta extensión, es claro que existe un gran rango de composición de los elementos aleantes en el aluminio, por lo que la industria del aluminio secundario, tiene que enfrentar el reto de cumplir con exigencias de composición química para producir productos de mejor calidad. [3]

Tabla 3. Composiciones y usos más frecuentes de las aleaciones de aluminio [3 pag-36]

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Uso
1235	0.65Si+Fe	----	0.05	0.05	0.05	0.1	0.06	Hoja impresa
3004	0.30	0.70	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3	0.25	---	Cuerpos para lata
5182	0.20	0.35	0.15	0.2-0.5	4.0-5.0	0.25	0.1	Tapas para lata
8079	0.05-0.3	0.7-1.3	0.05	---	---	0.1	---	Foil p/hogar
3003	0.6	0.7	.05-0.2	1-1.5	---	0.1	---	Platos p/comer
3105	0.6	0.7	0.3	0.3-0.8	0.2-0.8	0.4	0.1	Placas p/pared
6063	0.2-0.6	0.35	0.1	0.1	0.45-0.9	0.1	0.1	Extrusiones
2036	0.5	0.5	2.2-3	0.1-0.4	0.3-0.6	0.25	0.15	Lámina p/auto
5657	0.08	0.1	0.1	0.3	0.6-1	0.05	0.1	Contramarcos
7016	0.1	0.1	0.6-1.4	0.3	0.8-1.4	4.5	0.03	Parachoques
380	7.5-9.5	2	3-4	0.5	0.1	3	---	Colada a presión
390	16-18	1.3	4-5	0.1	0.45-0.65	0.1	0.2	Bloques p/motor
360	9-10	2	0.6	0.35	0.4-0.6	0.5	---	Colada a presión
413	11-13	2	1	0.35	0.1	0.5	---	Colada a presión
520	0.25	0.3	0.25	0.15	9.5-10.6	0.15	0.25	Moldeo en arena
202	0.1	0.15	4-5.2	0.2-0.8	0.15-0.55	---	0.15	Moldeo en arena
513	0.3	0.4	0.1	0.3	3.5-4.5	1.4	0.2	Moldeo en coquilla
296	2-3	1.2	4-5	0.35	0.05	0.5	0.25	Moldeo en coquilla

Procesos de reciclado

Proceso ALCOA

El rápido crecimiento del uso de latas de aluminio para bebidas ha proveído a la industria del aluminio con un solo producto que utiliza más aluminio que ningún otro. En 1984 en los E.U., alrededor de 1.5 millones de toneladas de lámina de aluminio fueron usadas para fabricar 61.5 billones de envases de bebida; para 1987 el aluminio dominó totalmente el mercado de los envases para bebida.

La habilidad del envase de aluminio para poder ser reciclado en nueva lamina para envase es una de las razones para el extraordinario crecimiento de su uso. El crecimiento del índice de reciclado también ha sido muy grande. En el periodo de 5 años de 1979 a 1983 se observó un aumento del doble en el índice de reciclado de 27% a 54%.

Descripción del problema

Aún con las actuales ventajas empujando el índice de reciclado hacia arriba, la composición del metal obtenida del reciclaje de botes de aluminio limita el uso de este metal. Esto se puede entender mejor examinando las aleaciones que componen el envase de aluminio. El envase de aluminio mostrado en la figura 1, esta hecho aproximadamente de 25% AA5182 y 75% AA3004.

Figura 1. Composición química de los componentes de una lata de aluminio [2]

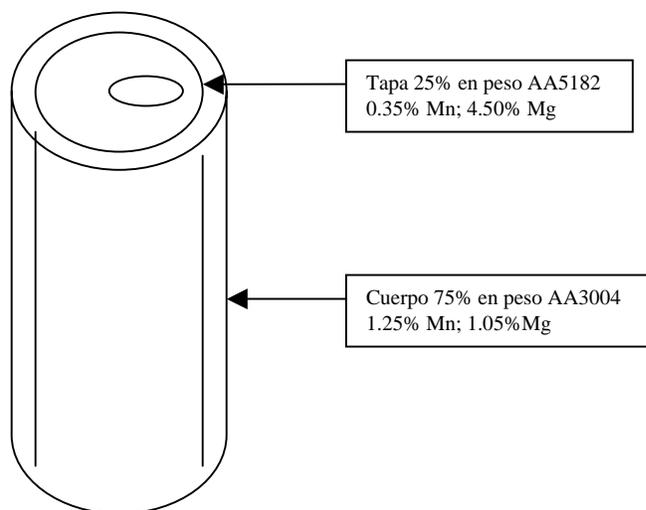


Tabla 4. Datos de composición [2]

Aleación/Aleante	%Mg	%Mn	%Si max	%Fe max
AA5182	4.0 – 5.0	0.20 – 0.50		
Comp. Media	4.5	0.35	0.20	0.35
AA3004	0.8 – 1.3	1.0 – 1.5		
Comp. Media	1.05	1.25	0.30	0.70
Composición calculada de la lata	1.91	1.03	-	-
Composición en la fusión	1.30	1.03	0.16 – 0.5	0.35 – 0.7

Varios productores de estas aleaciones tienen estrechos límites de composición que cumplir. Por consiguiente, para el punto de esta discusión, los puntos medios para el magnesio y el manganeso en los rangos establecidos serán usados para ilustrar el problema. Estos puntos medios también aparecen en esta tabla. La composición esperada de la fusión de los envases puede ser calculada como el peso promedio de las dos aleaciones. Esto da un contenido de manganeso de 1.03%, y un contenido de magnesio de 1.91%. En la práctica, el contenido de magnesio en un baño fundido de latas es altamente variable y dependiente de la técnica de fusión. Esto es debido a la reactividad química del magnesio, a la temperatura de fusión de la aleación y su subsecuente oxidación preferencial respecto de otros aleantes. El contenido típico de la mezcla de magnesio de un baño de latas es 1.3%. Este valor y el contenido de manganeso calculado también aparecen en la tabla 4.

Una inspección de la tabla muestra que el baño de latas contiene mucho manganeso para ser convertido totalmente en AA5182 y mucho magnesio para ser convertido totalmente en AA3004. Ambos casos requieren de la adición de aluminio primario para diluir estos elementos aleantes a niveles aceptables.

Cuando el nivel de reciclaje de latas es pequeño, este metal reciclado, volumétricamente desplaza solamente una pequeña cantidad de aluminio primario del total de la carga del horno. El impacto en la composición de la carga de latas fue despreciable debido a la efectiva dilución por el aluminio primario. Como el nivel de reciclado ha crecido, los envases de aluminio han tenido una porción mayor en el requerimiento de producción de nuevas latas. El uso de aluminio primario decrece así como su inherente habilidad para diluir. La consecuencia es que los envases son ahora el mayor factor en la determinación de la composición de la mezcla. En el orden de maximizar el uso de latas recicladas en la

producción de nueva lamina para envase, la habilidad para controlar la composición es el mayor reto.

Cuando las latas de acero representaban una porción significativa del mercado, estas podrían erróneamente ser procesadas por los recicladores junto con las latas de aluminio. También algunas otras formas de chatarra de hierro como clavos, cable, pedacería pudieran ser mezcladas con las latas. El uso de separadores magnéticos y la gradual desaparición de las latas de acero han eliminado en gran medida este problema.

El silicio entra al sistema en forma de arena, vidrio y arcilla, los cuales reaccionan con el metal fundido para introducir silicio dentro del metal. La implementación de programas de inspección visual para los envases que entran, el uso de mallas y mejoras en las técnicas de fusión, eliminan este problema.

Sin estas salvaguardas el uso de latas puede ser limitado por el atrapamiento de impurezas. Esto requiere mayores cantidades de metal primario para dilución que la necesaria para diluir la mayor cantidad de aleantes (magnesio y manganeso).

Si la dilución fuera la única forma para el control de la composición, se notaría claramente un límite para la cantidad de latas que pudiera ser usado en la elaboración de nueva lámina para envases. Índices más altos de reciclaje que este nivel pudiesen saturar la oferta del mercado. El valor de los envases declinaría hasta competir con otras formas de chatarra. Cuando esto sucedió hace algunos años, los envases fueron comprados por la industria secundaria. El metal fue refinado para remover el magnesio, entonces fue degradado en su composición para producir castings. El hecho de que esto estaba justificado económicamente estimuló a la industria a desarrollar tecnologías efectivas de reciclaje que incrementaran la conservación de recursos.

La expectativa de crecimiento en el reciclaje del bote de aluminio, impone un reto a la industria. Este reto es usar todos los envases reciclados para hacer nueva lámina para envase y al mismo tiempo el control de la composición mediante otros métodos diferentes a la dilución con aluminio primario.

Conociendo este reto la industria ha hecho un progreso significativo reduciendo el retiro de impurezas atrapadas. El tema pendiente es el sistema de dos aleaciones.

Fundamentos teóricos del proceso ALCOA

El proceso desarrollado por ALCOA, toma ventaja de la gran diferencia en los rangos de fusión de las aleaciones AA5182 y AA3004. También depende del camino específico por el cual una fusión incipiente en los bordes de grano de la aleación AA5182 es altamente localizada. Los rangos de fusión para estas aleaciones aparecen en la tabla 5

Tabla 5. Temperaturas de fusión de las diferentes aleaciones del envase [2]

ALEACIÓN	TEMPERATURA (°C)
AA5182	580-637
AA3004	629-654

Claramente la AA5182 empieza a fundir aproximadamente 49° C por debajo del inicio de fusión de la AA3004. Generalmente el término “hot short” es usado para describir el metal que es calentado a una temperatura dentro o cercana del comienzo de su rango de fusión. El termino “hot short” implica que cuando el metal se calienta, se reducen sus propiedades mecánicas. Usualmente esta es una condición que se debe evitar a toda costa, especialmente

durante los procesos de trabajado en caliente. Sin embargo, el comportamiento de la aleación AA5182 que finaliza en una condición “hot short”, forma la base del proceso ALCOA.

En el procesamiento ALCOA de los envases, la humedad, lacas y pigmentos orgánicos son removidos en una escala de tratamiento térmico previo a la fusión. Uno de los sistemas de ALCOA para el deslacado de las latas, es un horno rotatorio calentado por un quemador de gas. Esta etapa usualmente es llevada a cabo por debajo del rango superior de fusión de cualquiera de los materiales alimentados, entonces puede evitarse una fusión masiva en el horno. No obstante, se ha descubierto que la operación del horno a una temperatura en el límite inferior del rango de la AA5182 podría usarse como la clave en la etapa de separación de las aleaciones de los envases de aluminio.

Se ha observado que los granos elongados de una estructura altamente deformada están ausentes; se presentan granos grandes y equiaxiales que demuestran que la aleación ha recristalizado durante el tratamiento; otra característica destacable en esta panorámica es una fractura propagada a lo largo de los límites de grano.[3]

Hay evidencia de microscopía electrónica que indica que los bordes de grano se funden.

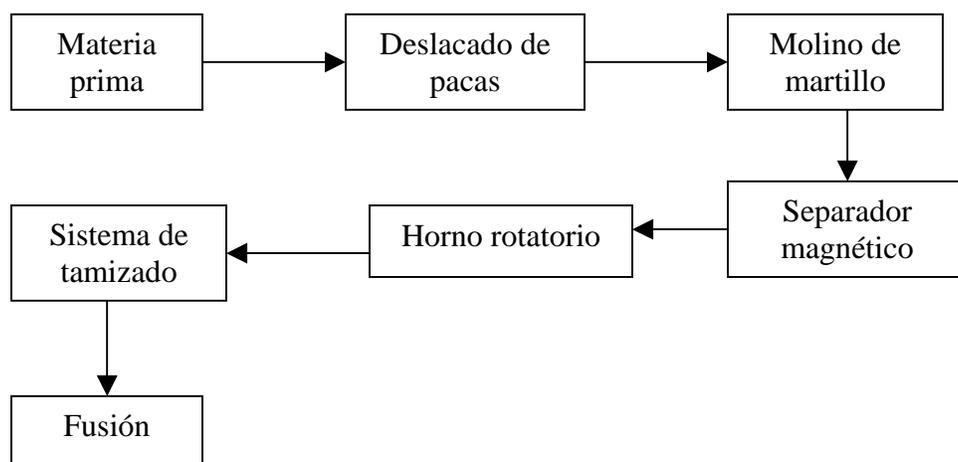
Las latas se fragilizan cuando varios de los límites de grano son fundidos. Suaves golpeteos dentro del horno rotatorio son suficientes para causar la fragmentación. Muestras tomadas a la salida del horno demuestran que la separación de la AA5182 de la AA3004 del cuerpo, es cercana a un 100%. Como los componentes del cuerpo de AA3004, no se alteran por este tratamiento y la AA5182 de la tapa termina altamente fragmentada, una simple clasificación por tamaño mediante tamizado, resulta en segregación de las aleaciones. [3]

En resumen el proceso ALCOA queda descrito como sigue:

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, posteriormente se alimentan a un horno rotatorio. Ahí se efectúa la parte medular del proceso al calentarse las latas hasta una temperatura de fusión incipiente (580-640° C) de la tapa de la lata. Al ir avanzando la chatarra dentro del horno, las partes de la aleación fragilizada 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 partículas menores presentan mayor contenido de magnesio (tapas) y las partículas mayores tienen un contenido menor de magnesio (cuerpo). Los finos contienen la mayor parte de las impurezas. Se puede así fundir por separado cada fracción para producir, con ajustes menores de composición, las partes para los nuevos envases. [4]

Figura 2. Diagrama del proceso actual ALCOA de reciclado de latas [3]

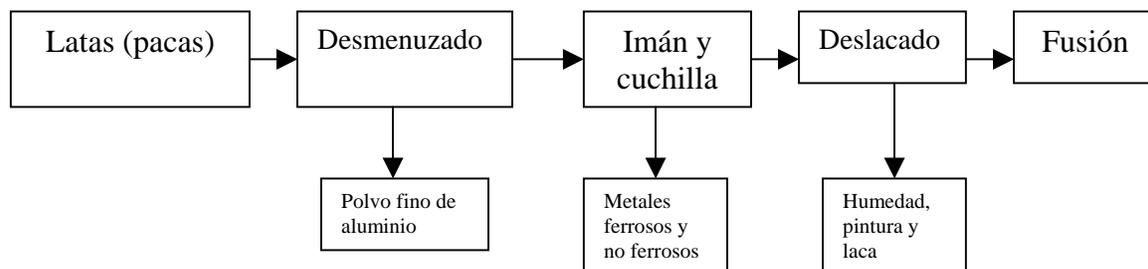


Proceso sin separación de aleaciones

Otro proceso actual para el tratamiento de envases de aluminio consiste de las etapas presentadas en el esquema de la figura 3 [4], de manera general inicia con la llegada de las pacas de lata; las cuales son trozadas y desmenuzadas para crear una corriente de partículas más manejables; en el camino, los finos son removidos; posteriormente pasan por un imán que atrapa el material ferroso, así como por un cuchillo neumático para separar no ferrosos; acto seguido, las partículas pasan a través de un horno para su deslacado, en donde los componentes orgánicos son eliminados; al salir del deslacado, las partículas son llevadas a la etapa de fusión (se sumergen en un baño de aluminio líquido).

En este proceso se produce metal cuya composición requiere de dilución de Mg y algunas adiciones de Mn para lograr las especificaciones requeridas de la aleación AA3004 utilizada en la manufactura del cuerpo de los envases para bebida.

Figura 3. Diagrama del proceso alternativo para el procesamiento de envases de aluminio para bebida [4]



La preparación actual de las latas involucra:

- La trituración/desmenuzado mecánico, para exponer las superficies internas
- Procesamiento térmico alrededor de 500-550° C, para el quemado de los recubrimientos
- Carga al horno de fusión

Reciclado de aluminio en Suecia

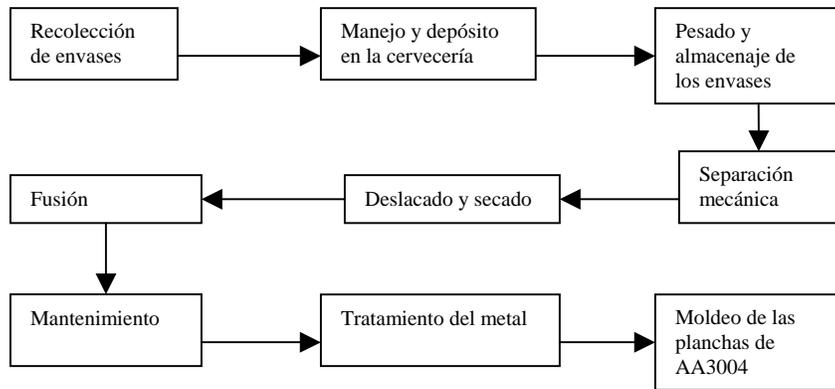
El mercado sueco de envases de aluminio para bebida alcanzó 0.84 billones de latas en 1990. El índice de crecimiento era de 83.3%. Todos los envases recolectados son deslacados en una unidad especial de pretratamiento antes de ser refundidos con una carga del sobrante de laminación de lámina para cuerpo, en un horno de inducción de 3000kW, al cual no se le adiciona aluminio primario. El resultado es una aleación AA3004 de alta calidad moldeada en planchas y rolada en hojas de 0.33mm para elaboración de cuerpo de envases.

Este proceso tiene dos requerimientos principales:

- Minimizar las pérdidas de metal
- Minimizar el impacto ambiental tanto como sea posible

El proceso en su totalidad, desde la recolección hasta el moldeo de planchas se muestra en la figura 4.

Figura 4. Diagrama de flujo del metal ilustrando el sistema sueco de reciclado de envase de aluminio. [6]



Recolección y transporte a la planta de reciclaje.

El sistema de recolección es administrado por una compañía especial, formada en 1982 después de que el parlamento sueco aprobó una ley mediante la cual el 75% de todos los envases de aluminio deberían ser reciclados para 1985. El consumidor deja sus latas en una máquina que le da un importe por cada unidad (4 centavos inicialmente), en las tiendas de autoservicio, los envases son aplastados y transportados de vuelta a los depósitos cerveceros. Después de ser compactados, los envases son transferidos a unos contenedores de carga y transportados por camión o tren a la planta de reciclaje de Gränges en Finspong. La demanda oficial en el índice de reciclaje fue de 90% para 1993. El mercado sueco creció de 0.61 billones de latas en 1984 a 0.84 billones en 1990.

El transporte, almacenaje y manejo de la chatarra de lata aplastada requiere un mayor volumen que la lata trozada, así como los costos de transportación son más elevados. Despedazar, sin embargo, provoca inevitablemente pérdidas de metal debido a los finos, por lo tanto no se ha adoptado.

Pretratamiento de separación de chatarra de envase de aluminio previo a la fusión

La chatarra de lata contiene objetos extraños de varios tipos. Previamente a la fusión estos son removidos por separación magnética y tamizado.

Latas de acero ocasionales tienen que removerse con el fin de mantener la concentración de hierro dentro de los estrechos límites permisibles. De otra manera, la concentración de hierro resultante de cada nueva carga reciclada podría incrementarse inaceptablemente después de cada ciclo.

Objetos extraños dentro de las latas son difíciles de remover, debido al tipo de sistemas de recolección y depósito utilizado. Pero ha sido probado que la cantidad de objetos extraños es pequeña, y es aceptable.

Otra de las características de los envases no desmenuzados es que los líquidos atrapados no fácilmente salen. Durante su almacenamiento y transportación, los envases pueden atrapar humedad debido al clima. Fundamentalmente por razones ambientales pero también por mejoras en la producción del metal, es importante remover materiales orgánicos combustibles, tales como lacas, selladores y residuos (p.ej azúcar) antes de fundir.

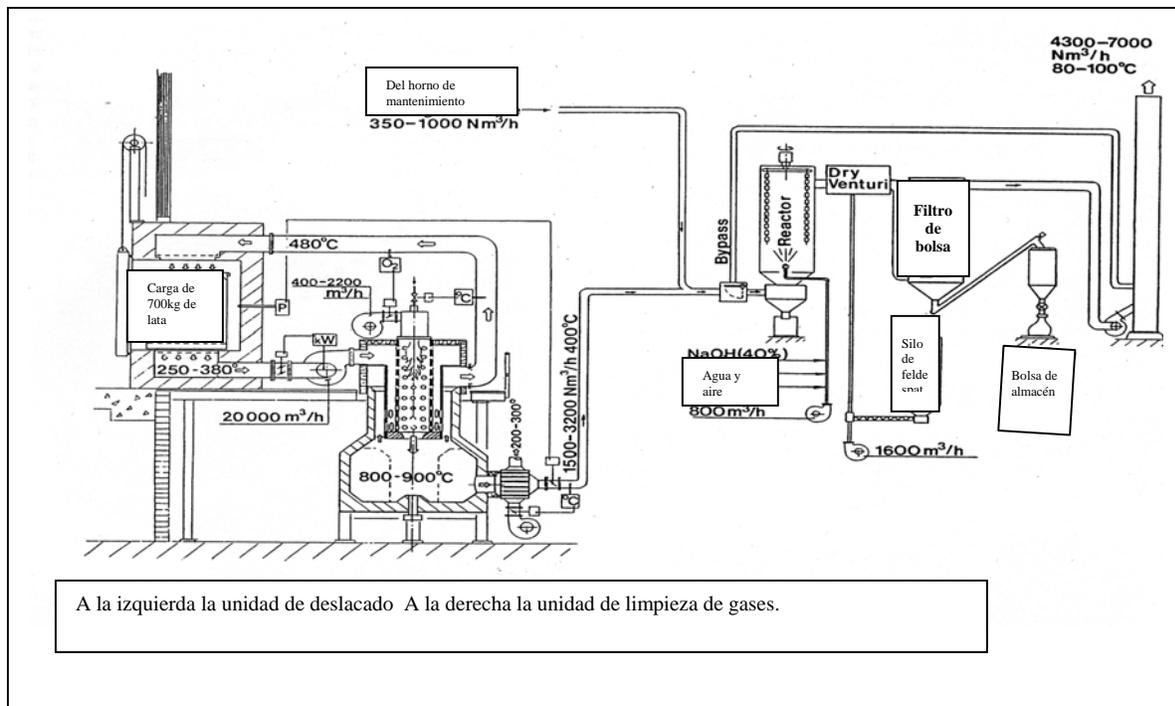
Secado y deslacado.

El secado y deslacado se lleva a cabo en un proceso desarrollado para este propósito por Gränges AB. La chatarra separada de lata se carga en un contenedor de acero de 5m³ perforado, y es tratada en una operación batch dentro de un horno de deslacado. Excepto por el cuarto del horno, la unidad también comprende una cámara de combustión y un ventilador. Los envases cargados son calentados alrededor de 480° C por gases calientes circulantes; en consecuencia, todo el material inorgánico volátil y los orgánicos son gasificados. En la cámara de combustión (de gas) las sustancias orgánicas son quemadas a

870° C. Alrededor del 10% del volumen de gas circulante es continuamente sacado de la cámara de combustión. Antes de ser emitido a la atmósfera este gas, se enfría en un intercambiador de calor abajo de 459° C, y entonces, se trata con una solución de NaOH-H₂O para la neutralización del HCl y posteriormente es enfriado a 180° C. En la siguiente etapa el gas es tratado con una mezcla de polvos de fierro y feldespatos. Pequeñas partículas del gas que fluye se aglomeran en estas partículas de polvo lo cual facilita su filtrado efectivo. En este paso cualquier residuo de HCl es neutralizado. Las partículas sólidas son separadas del flujo de gas con filtros textiles, y son colocadas en bolsas.

El consumo de gas para esta unidad de deslacado es en promedio de 30kg de propano por tonelada métrica tratada; y la capacidad del horno es de 2 a 2.5 toneladas métricas por hora.

Figura 5. Equipo de deslacado [6]



Fusión

La chatarra deslacada se carga junto con la chatarra del proceso de elaboración de latas, así como la chatarra de la producción del cuerpo de la lata proveniente del molino de laminación y de la fundición. No hay adición de aluminio primario. La carga promedio del horno contiene un 50% de latas recicladas; 20% chatarra del proceso de elaboración de lata; 22% chatarra del molino de laminación; y 8% de retornos de fundición.

La fundición se realiza en un horno de inducción de 32 toneladas métricas; con capacidad para fundir 4.7 toneladas métricas por hora. El consumo de energía eléctrica de este equipo es de 530kWh/tonelada el cual corresponde a una eficiencia de un 61%. Después de que la composición es ajustada a una aleación AA3004, el metal es transferido a un horno de mantenimiento calentado por gas. El consumo total de energía de fusión, mantenimiento y moldeo es de 730kWh/tonelada. Se ha visto que si la chatarra de latas aún esta caliente cuando se carga después del proceso de deslacado, entonces el requerimiento energético es bajo y el tiempo de fusión se acorta, lo cual da un incremento significativo de la capacidad de fusión.

El aplicar la técnica de deslacado nos lleva a una mejora en la producción. Ello depende, probablemente, de mantener bajo el contenido de oxígeno en el proceso de deslacado.

Recubrimientos

Los recubrimientos son diferentes tipos de materiales como barnices, pinturas, que al ser utilizados en conjunto con el aluminio tienen un fin determinado: mayor resistencia a la contaminación atmosférica. También es posible dar diferentes tipos de acabado a las extrusiones, en cualquier color deseado. Sin embargo, para obtener buenos resultados en los

recubrimientos deberá ser cuidada la técnica, especialmente en el precalentamiento, la selección del recubrimiento y el curado.

La razón más común para pintar el aluminio es simplemente cambiar su apariencia y mejorar su resistencia a la corrosión. Es verdad que el aluminio puro, forma su propia capa protectora de óxido de aluminio tan pronto como es expuesto al aire. Esta capa de óxido tiene buena resistencia en la superficie; sin embargo, la mayoría de los productos de aluminio están hechos de aleaciones de aluminio con otros elementos, y también contienen impurezas, por lo que la resistencia a la corrosión no puede ser tan buena como lo es para el aluminio puro. En atmósferas severas estas aleaciones pueden ser vulnerables al ataque corrosivo. La pintura provee protección contra la corrosión.

Por supuesto hay otros acabados para el aluminio, por ejemplo el anodizado. Éstos acabados nos dan diferentes propiedades y pueden ser mejores en algunas aplicaciones, sin embargo, ninguno ofrece la variedad de colores brillantes como los que ofrece la pintura.

La pintura para aluminio relativamente es una práctica nueva, con poco menos de 50 años de antigüedad. De hecho la producción comercial del aluminio tiene poco más de un siglo, la cual data de 1886 cuando la celda electrolítica fue desarrollada. [7]

No es posible dar una sola definición para los recubrimientos colorantes (pinturas). Una variedad de compuestos químicos son usados, los cuales, son predominantemente orgánicos y muy volátiles. Benceno y tolueno están siempre presentes en pequeñas cantidades. Los componentes inorgánicos como el TiO_2 usualmente se restringen a los colorantes y para adición de masa. Los proveedores de lacas y pinturas tienen sus propias formulaciones, y estas son información del propietario. [8]

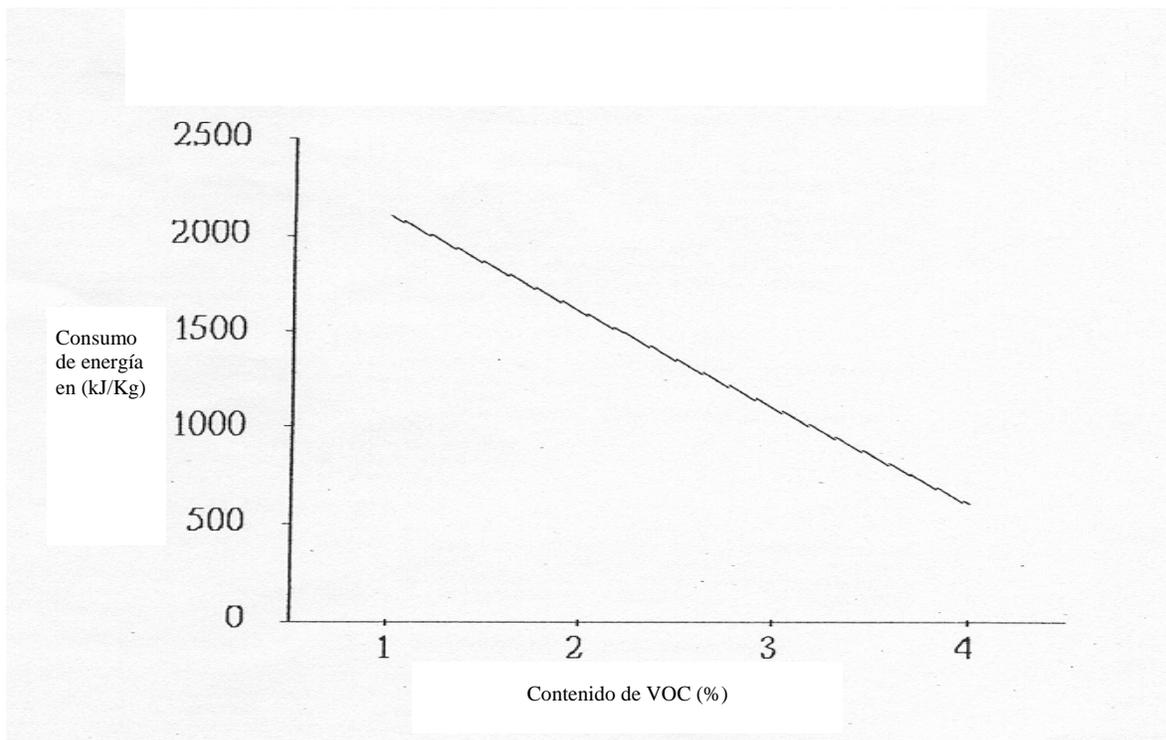
Efecto de los recubrimientos (VOC)

La pintura normalmente es referida como un compuesto orgánico volátil (VOC) por sus siglas en inglés. El porcentaje en peso es muy variable. Los envases usados de aluminio para bebida contienen 1-3% en peso, el stock para lata nueva arriba de 5%, hoja pintada 20% y laminados un 50%.

El proceso de deslacado remueve la pintura y los productos de las reacciones son acarreados fuera hacia un postquemador u oxidador térmico, donde son quemados. Una porción del calor liberado en el postquemador se regresa al sistema de deslacado, incrementando la eficiencia térmica.

Para todos los recubrimientos hay un nivel crítico en el cual el sistema completo se vuelve autotérmico, (donde el calor externo no es requerido). Esto es aproximadamente un 5% de VOC en peso. Ver figura 6. [8 pag-1041]

Figura 6. Contenido de VOC vs. Consumo de energía



Como los recubrimientos son volátiles, el oxígeno disponible tiene que ser restringido, de otra manera una combustión no controlada podría llevarse a cabo, lo cual incrementaría la temperatura de la chatarra de aluminio al punto en el cual la fusión pudiese ocurrir. Esta situación se incrementaría con niveles de oxígeno superiores al 12%. Por debajo de 4% no hay suficiente oxígeno disponible para un efectivo proceso de deslacado. El nivel óptimo es de un 6-8%.

Consideraciones ambientales

Factores asociados con la contaminación del aire

Contaminación del aire es el término utilizado para describir la presencia en la atmósfera de una o más sustancias en cantidades, y características tales, que sean perjudiciales a la salud de los seres humanos, animales, plantas o que afecten a los bienes materiales.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en estacionarias y móviles. Las móviles se originan en los transportes, y las fuentes estacionarias “industriales” se generan de cualquier industria que tenga quema de combustible para producir calor y energía.

En la mayoría de los casos los efectos de las fuentes estacionarias o focos de contaminación, como las plantas industriales, dependen de diversos factores locales. Entre ellos, la topografía, las condiciones meteorológicas, la altura de las chimeneas, la ubicación, el equipo de control, las materias primas y el tipo de proceso.

En el caso de la fundición de aluminio secundario los principales contaminantes del aire son CO, CO₂, NO_x, N₂, SO₂ y las partículas suspendidas principalmente. [3]

Monóxido y dióxido de carbono

El monóxido es un gas incoloro, inodoro e insípido que se forma principalmente por la combustión incompleta del carbono. Las variables importantes que afectan la concentración de su emisión incluyen el tiempo de residencia en la cámara de combustión, turbulencia, temperatura de flama y concentración de oxígeno.

Por mucho, la fuente principal de monóxido de carbono es la combustión en los motores de combustión interna de las fuentes móviles; las fuentes fijas contribuyen en mucho menor grado a la formación de este contaminante.

Otro componente de las emisiones de gases de combustión es el dióxido de carbono, formado por la combustión, a baja velocidad de reacción, del monóxido de carbono en la atmósfera.

Total de partículas en suspensión (TPS)

Son partículas sólidas o gotas dispersas en la atmósfera que pueden ser de origen orgánico o inorgánico, por ejemplo: polvo, polen, cenizas, hollín y diversas sustancias químicas. Dependiendo de su tamaño, se depositarán cerca de su lugar de origen o serán transportadas por el aire a grandes distancias. Las partículas se clasifican, según su tamaño en partículas decantables (+ de 50 micras), aerosoles (- de 50 micras) y partículas finas (menores a 3 micras).

En el caso de la industria de la fundición de aluminio secundario, encontramos partículas finas de menos de 3 micras.

Óxidos de nitrógeno

De las numerosas formas posibles de óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son los contaminantes del aire más significativos. El óxido nítrico es el contaminante principal y se forma por combustión atmosférica a alta temperatura en la combinación directa de nitrógeno y oxígeno. En presencia de luz solar, el óxido nítrico se combina con el oxígeno atmosférico para formar el dióxido de nitrógeno, que en este caso es un contaminante secundario.

La principal fuente de “óxidos de nitrógeno” es la quema de combustible, en donde la cantidad de óxidos de nitrógeno es función de la concentración disponible de nitrógeno y oxígeno, tiempo de reacción y temperatura. La industria de la fundición es otra fuente notable de emisiones localizadas.

Óxidos de azufre

Estos contaminantes del aire son dióxido de azufre (SO₂), y trióxido de azufre (SO₃).

La fuente principal de ambos es la quema de combustibles, principalmente carbón, que contenga azufre en presencia de aire (oxígeno); el contaminante secundario más significativo es el ácido sulfúrico [3].

Emisiones en la operación de deslacado

El gas que es desalojado del proceso de deslacado contiene los siguientes contaminantes regulados:

Partículas finas

Monóxido de carbono e hidrocarburos

Óxidos de nitrógeno

Cloruro de hidrógeno

Fluoruro de hidrógeno

Dióxido de sulfuro

Las partículas finas en la salida del horno son una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos, más los finos de aluminio producidos en el horno por la abrasión. Aproximadamente el 50 % es orgánico y, por lo tanto, combustible.

El monóxido de carbono y los hidrocarburos son producidos durante la degradación a baja temperatura de la pintura. La concentración de estos compuestos varía ampliamente durante el proceso de deslacado. Los envases de aluminio no están segregados y la cantidad de pintura y lacas en las latas varían de acuerdo al diseño de impresión. La máxima concentración de monóxido de carbono en la salida de gas del horno es alrededor de 4000 ppm (0.4%) y 500 ppm (0.05%). [8]

Tratamiento del gas de salida del horno

El gas que entra al sistema de limpieza contiene en su mayoría partículas inorgánicas, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno y pequeñas cantidades de orgánicos. Los ácidos son neutralizados por un tratamiento con polvo de fierro. Dependiendo de los niveles requeridos, la limadura de fierro es directamente inyectada en el torrente de gas o este es neutralizado en un reactor de torre el cual es mucho más eficiente.

El gas residual finalmente pasa a través de un sistema de filtrado de bolsa antes de ser expulsado a la atmósfera. Los niveles de contaminantes están dados abajo:

Partículas < 25 mg/m³.

Eco-perfiles que son requeridos

El eco-perfil no solo incluye los requerimientos energéticos del producto, sino también incluye la determinación y la evaluación de todas las emisiones durante la producción y el manejo de los residuos.

En la figura 7 [9] se observa una red altamente compleja de interacciones, las cuales tienen que considerarse en cualquier proceso productivo y no solamente para el de las latas de aluminio.

Figura 7. ALUMINIO Y MEDIO AMBIENTE

Selección de criterios para evaluar “impacto ecológico del reciclado de envases”

Entradas/ salidas	Impacto	Contaminación	Efectos
Entradas/ Consumo	Suelos	Fuentes de energía: Combustibles fósiles Energía nuclear Hidroeléctrica Otras	Disponibilidad Confinamiento nuclear
		Recursos minerales	Disponibilidad
Salidas/ Emisiones	Suelos	Residuos de producción Partículas sólidas: inertes y activas Desperdicios	Toxicidad pH Paisaje
	Agua	Alcantarillado Otros Desperdicios calientes	Agua potable Toxicidad y pH Microclima
	Aire	SO ₂ Dióxidos CO ₂	Lluvia ácida Toxicidad Efecto invernadero
	Clima	Desperdicio energético	Calentamiento global

CAPITULO II. DISEÑO DEL HORNO ROTATORIO

El horno rotatorio

Un horno rotatorio tiene un diseño especial, siendo un equipo muy útil y práctico; tiene diversas aplicaciones en diferentes áreas. Siendo muy versátiles, los procesos en dicho tipo de hornos, pueden llevarse a cabo en forma batch, semi continua o continua, dependiendo de los requerimientos.

Dentro de la Industria del cemento tiene un uso extenso, en la cual se emplea para la cocción del klinker; también dentro de la metalurgia extractiva, algunos procesos de tostación de minerales se pueden llevar a cabo en este tipo de hornos; en la industria de la fundición, también son utilizados para la recuperación de aluminio de las escorias; se puede fundir aluminio (con algunas modificaciones en el diseño, haciéndolo ovalado); para el tratamiento de rebaba y viruta de procesos de extrusión, laminación, troquelado, etc., siendo la meta la eliminación de aceite, grasa y humedad, para poder ser refundidos nuevamente.

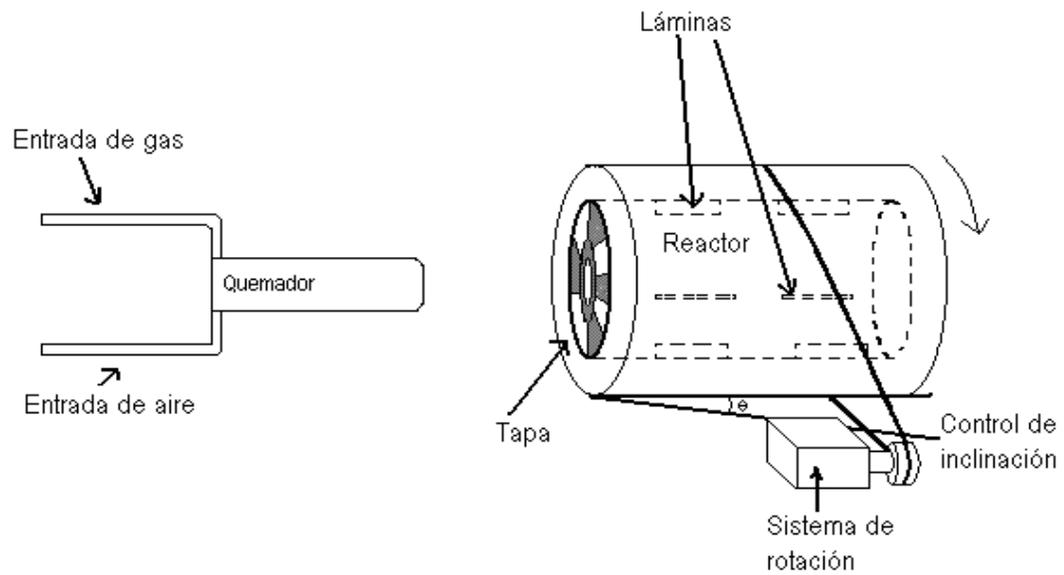
En el caso específico del tema de esta tesis, el horno rotatorio fabricado sirve para el deslacado de bote de aluminio para bebidas. Ya se ha hablado de los procesos de reciclado de aluminio y de la importancia o el porqué de esta operación previo a la fusión, pero es bueno recordar que esta operación nos eleva el rendimiento y la calidad del producto reciclado.

Diseño

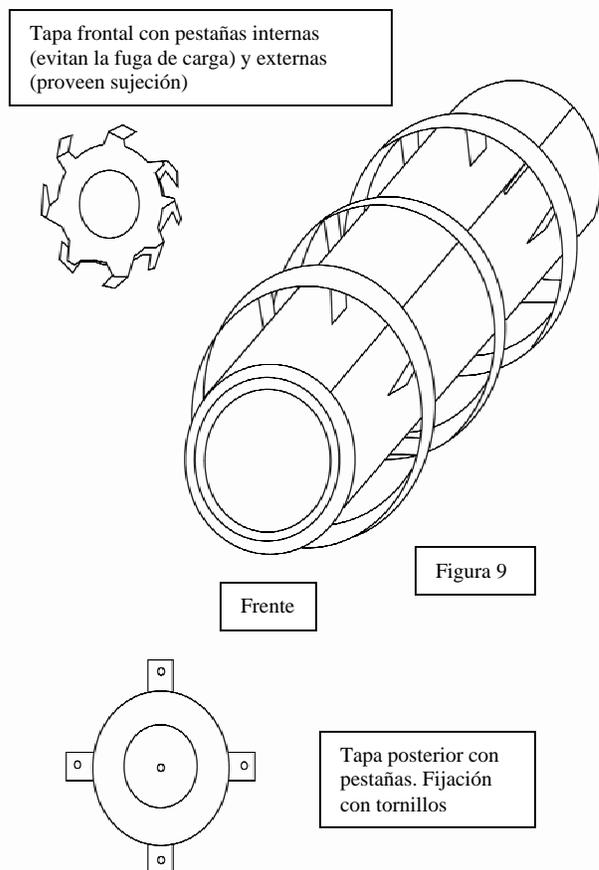
El diseño del equipo se divide en cinco partes:

- Horno rotatorio
- Base del motor y motor
- Quemador
- Base inferior del horno y sistema hidráulico
- Base superior del horno

Figura 8. Diagrama del horno



Horno rotatorio



ESPECIFICACIONES Y MEDIDAS

Cilindro de lámina negra
Largo = 90cm
Espesor = 0.75cm
Diámetro interno = 38.5cm.
Diámetro externo = 40cm.

Sistema de anclaje del refractario:
malla de acero soldada

Aislante moldeable (capa interna)
Espesor = 2-3cm.

Aislante lana mineral (capa media)
Espesor = 2.56cm.

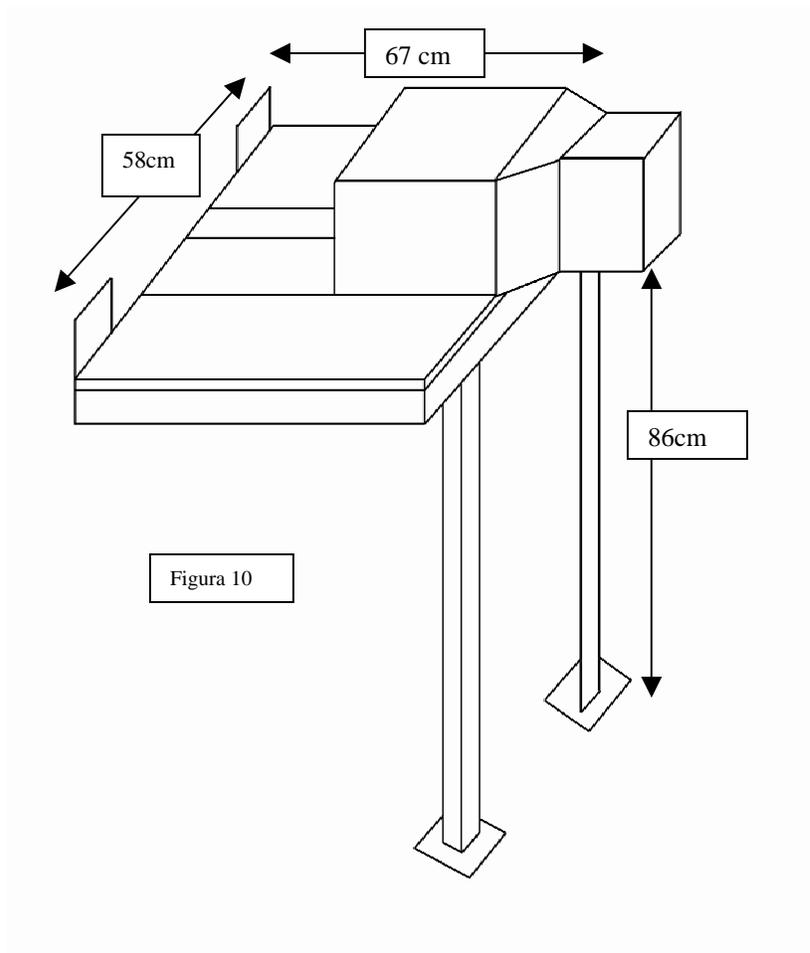
Diámetro interno con recubrimiento
de placa de acero inoxidable = 29cm

Tapas frontal y posterior en acero
inoxidable
Diámetro externo = 29cm
Orificio con un diámetro = 13.5cm

En el interior el horno lleva 12
láminas rectangulares de 9 * 15cm en
acero inoxidable, para levantar y
trozar la carga

En la parte externa:
Rodamientos: 3 aros de solera de 2 in,
con diámetro externo = 59 cm.,
sujetados con 12 soportes de solera de
2 plg, de 9cm para los aros frontal y
posterior; en el caso del aro central
lleva canal, contando con 4 soportes.
Este último actúa como riel donde va
la banda conectada a un
motoreductor.

Base del motor



ESPECIFICACIONES

Tabla de madera de 67 * 58cm con espesor de ½ plg sobre una base de ángulo de 2 in, sostenidas por 2 patas de altura variable hechas con solera de 2 in.

La base esta soldada a la base superior.

MOTOR

Un motoreductor de 1 HP trifásico con polea de diámetro = 4 plg con una banda de caucho de 3.30 m de longitud alineada con polea y riel de banda en el horno,

El arreglo esta hecho para proporcionar una velocidad de rotación de 11.5 R.P.M. del horno.

Quemador

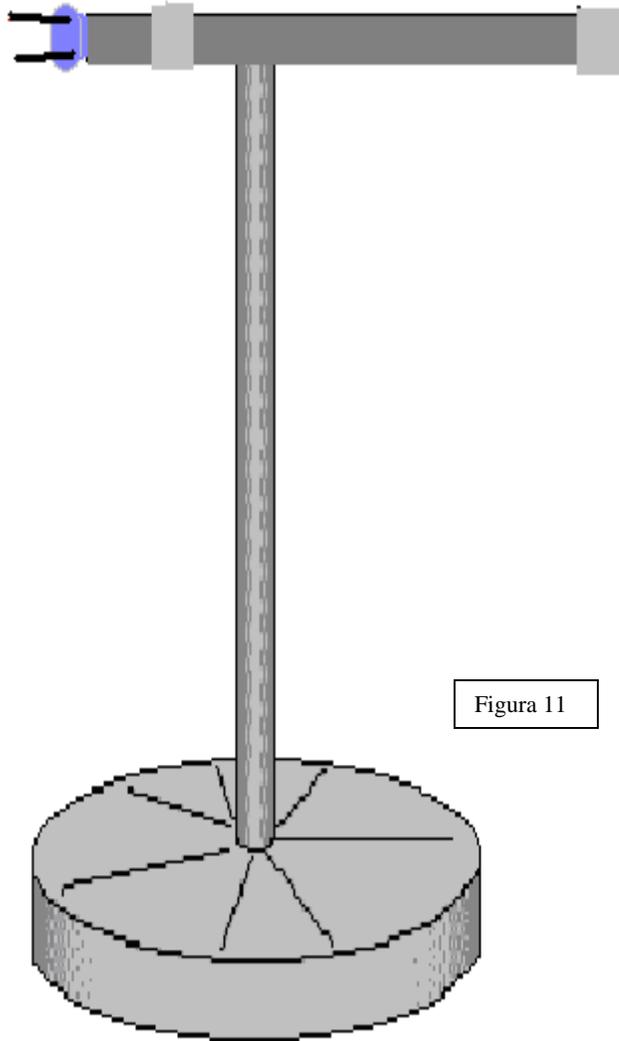


Figura 11

ESPECIFICACIONES

Largo = 49cm

Diámetro de boquilla = 2 in

Diámetro del tubo = 1 ½ in

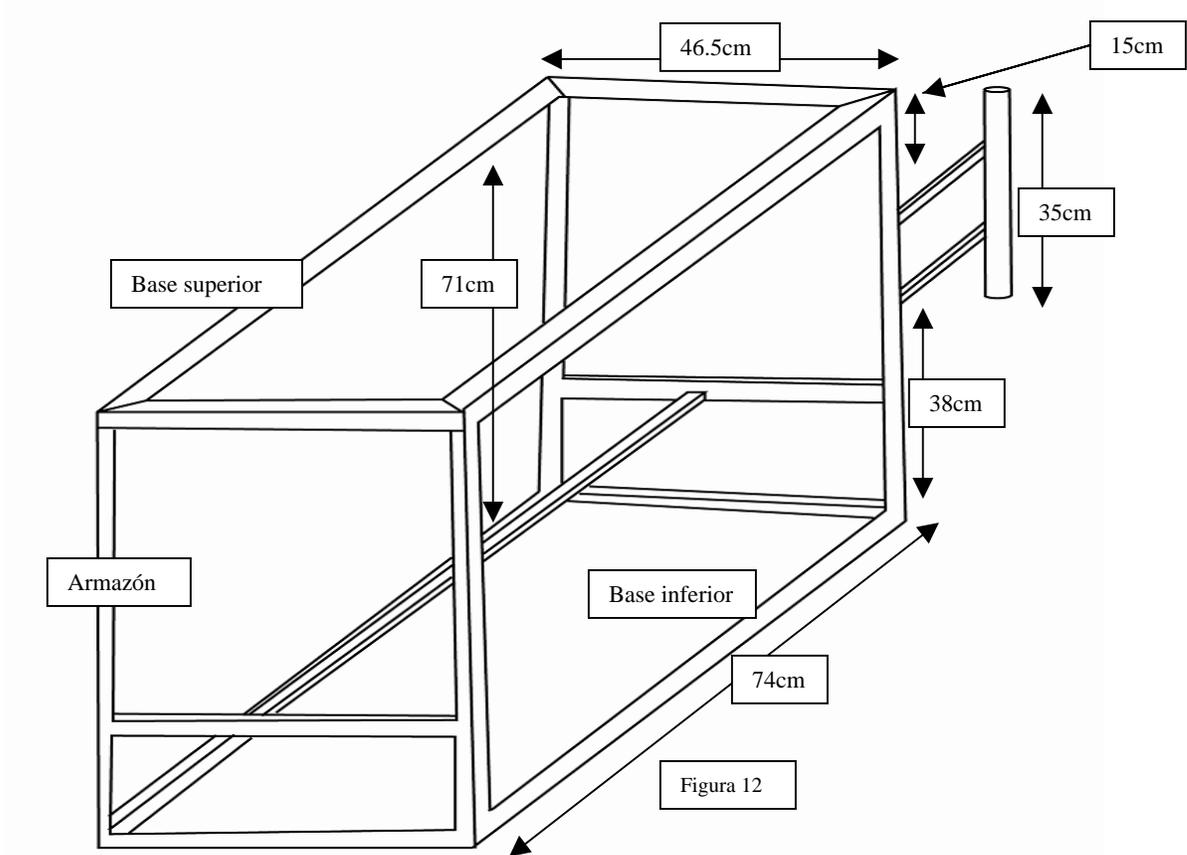
Características técnicas especiales:

Esprea de gas intercambiable

Válvulas de regulación de flujo para aire y gas

Soporte de altura variable y con rango de movimiento de 360°, desmontable, fijado a una base de hierro gris

Base inferior del horno y sistema hidráulico



ESPECIFICACIONES:

BASE INFERIOR

Base superior fabricada con ángulo de 2 plg

Base inferior fabricada con ángulo de 2 plg

Armazón hecho con cuadrado de 1 plg

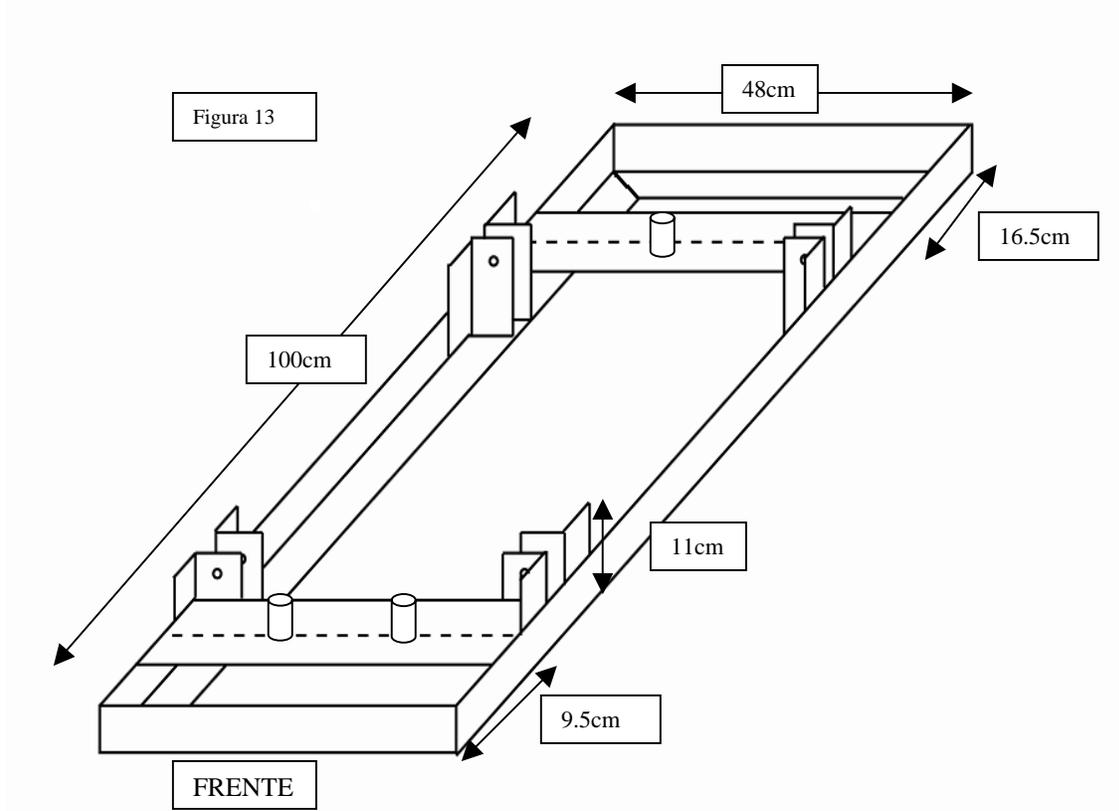
Unido con soldadura.

SISTEMA HIDRÁULICO

2 tramos de ángulo de $\frac{3}{4}$ plg utilizados como soporte del tubo guía para la barra del sistema hidráulico

1 barra de 1 in de diámetro de acero y 51cm de longitud, acoplado a un pistón neumático marca TAMMER con capacidad de 2 toneladas

Base superior



ESPECIFICACIONES:

4 soportes para cojinete, hechos con ángulo de 2 plg, con un barreno para tornillo de sujeción de flecha y cojinete.

Soporte frontal de retenes frontales: 2 ángulos de 2 plg

Soporte posterior de retenes posteriores: 2 ángulos de 2 plg

Retenes: 3 cojinetes con Diámetro externo = 3 plg

Diámetro interno = 1.5 plg

3 ejes para balero, de diámetro = 1.5 plg en barra negra

4 cojinetes de rodamiento con Diámetro externo = 3.5 plg

Diámetro interno = 2 plg

Ancho = 1 plg

4 ejes para balero c/ barreno para tornillo de sujeción hechos en hierro gris con Diámetro = 2 plg

Ancho = 3.5cm

Tornillería necesaria

Uso de bisagras de barril para la elevación del horno y lograr la inclinación adecuada a 30° y sujeción con la base inferior, para desplazamiento de carga y vaciado del horno

CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La experimentación llevada a cabo para este trabajo, inició con el diseño de un horno rotatorio para el deslacado de la lata de aluminio; posteriormente, con la fabricación misma de dicho equipo; y finalmente con la determinación de las condiciones de operación del horno.

En el capítulo anterior se trató el diseño del horno, en este, se muestra una secuencia de pasos para determinar las condiciones de operación y posteriormente realizar el diseño experimental. Se determinó en que condiciones puede operar el horno rotatorio basándose en:

- Determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida
- Determinación de la carga del horno rotatorio.

Diseño de experimentos

La primera parte del diseño de experimentos se realizó para las pruebas tipo batch y quedó establecido de la siguiente manera:

Temperatura de operación	# de pruebas	Variable controlada	Datos obtenidos
Temperatura 1 = 500° C	Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3	Carga 1 Kg	Registro de tiempo y pérdida de peso
Temperatura 2 = 535° C	Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3	Carga 1 Kg	Registro de tiempo y pérdida de peso
Temperatura 3 = 585° C	Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3	Carga 1 Kg	Registro de tiempo y pérdida de peso

De esta primera parte se obtuvieron datos importantes para determinar el diseño experimental aplicado a las pruebas de tipo continuo. Inicialmente se trabajaría con las mismas temperaturas 500° C, 535° C y 585° C, sin embargo, aunque a 500° C la lata presenta una pérdida de peso aceptable, el tiempo de residencia en el horno es muy alto y no se presenta un porcentaje significativo de fractura del envase, por lo que se descartó.

El diseño experimental para las pruebas de tipo continuo queda así:

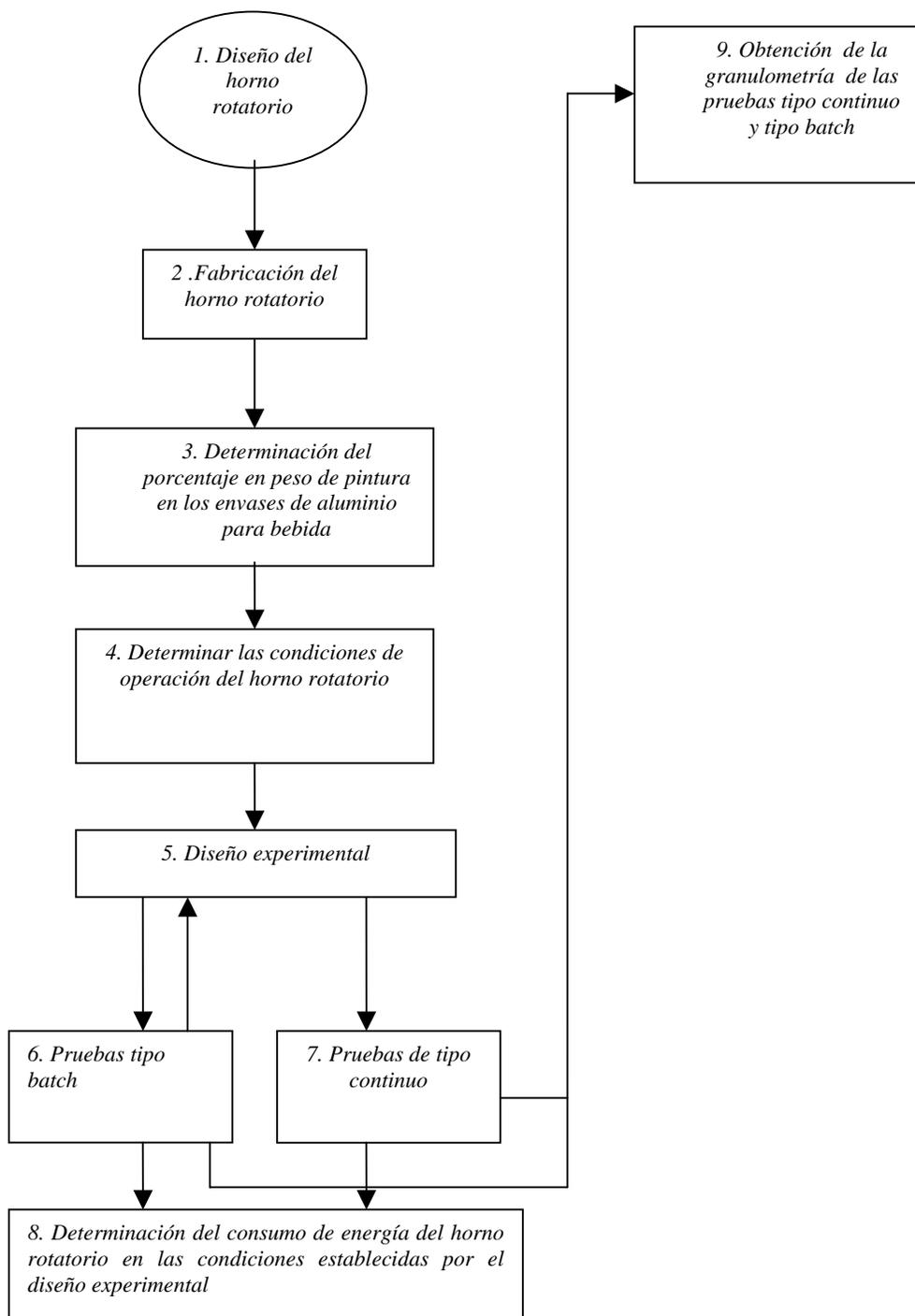
Temperatura de operación	# de pruebas	Variable controlada	Datos obtenidos
Temperatura 1 = 535° C	Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3	Tiempo 25 minutos	Registro de tiempos de alimentación y salida. Pérdida de peso
Temperatura 2 = 585° C	Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3	Tiempo 25 minutos	Registro de tiempos de alimentación y salida. Pérdida de peso

Ya establecido el diseño experimental se continua con la realización de los siguientes procedimientos:

- Pruebas tipo batch.
- Pruebas de tipo continuo.
- Obtención de la granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch
- Determinación del consumo de gas del horno rotatorio en condiciones “óptimas”.

De las pruebas realizadas no solo se obtuvieron datos de variables como temperatura, tiempo, peso, tamaño de partícula, sino también datos de tipo cualitativo que llevaron a un mejoramiento inmediato del equipo.

Diagrama de flujo del desarrollo experimental.



Es importante señalar que la información recabada al termino de las etapas 3,4,5 y 6 señaladas en el diagrama anterior, dio pauta para el diseño del siguiente experimento, es decir, la información recabada en el tercer paso, sirvió para diseñar el cuarto experimento, y la recabada en este sirvió para diseñar el quinto experimento, y así sucesivamente.

Procedimiento experimental para la determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida.

PROPÓSITO.- Conocer el porcentaje en peso de la pintura de las latas de aluminio, con el fin de comparar la pérdida de peso después del tratamiento en el horno rotatorio.

- 1.- selección de una muestra de seis latas de aluminio para bebida
- 2.- Corte de las latas a la mitad, con el propósito de exponer la superficie interna, y tener un quemado adecuado de todas las superficies (interior y exterior).
- 3.- Lavado cuidadoso de las muestras con agua y jabón.
- 4.- Secado de las muestras en una estufa a 120° C por espacio de 25 minutos.
- 5.- Etiquetado y pesado las latas en una balanza digital.
- 6.- Quemado de las latas en una mufla a 530° C por un tiempo de 45 minutos (tiempo y temperatura adecuados para llevar a cabo el quemado exitoso de la pintura).
- 7.- Retiro de las latas de la mufla y nuevo lavado con agua y jabón.
- 8.- Secado en una estufa a 120° C por 25 minutos.
- 9.- Pesado de las muestras en una balanza digital.
- 10.- De los pesos obtenidos y por diferencia de pesos se determino el % en peso de pintura en la lata de aluminio.

Procedimiento experimental para determinación de la carga del horno rotatorio.

PROPÓSITO.- Determinar la capacidad máxima de carga del equipo utilizando latas aplastadas o semi aplastadas en un momento dado.

- 1.- Muestras con pesos de medio kilo fueron preparadas.
- 2.- Carga de los primeros 500g con el equipo operando en condiciones de rotación.
- 3.- Observación y determinación de que el horno tenía mayor capacidad, por lo que se adicionaron otros 500g.
- 4.- Determinación de que la carga era suficiente y se adicionaron otros 500g.
- 5.- La carga se empezó a salir del horno.
- 6.- Se determinó entonces:
 - a) la capacidad de operación del horno es de 1Kg
 - b) cambiar el diseño de las tapas para evitar que el bote se salga del interior del horno

Procedimiento experimental para las pruebas tipo batch.

PROPÓSITO.- Determinar la temperatura de operación del horno.

- 1.- Ya determinada la carga adecuada, se seleccionaron tres temperaturas 500° C, 535° C y 585° C. Estas temperaturas se seleccionaron en base a datos de operación de los procesos actuales para deslacado como el ALCOA y el proceso sueco, puesto que garantizan un quemado eficaz de los recubrimientos.
- 2.- Pesaje y etiquetado de tres muestras de un kilogramo correspondiente a cada una de las temperaturas.
- 3.- Encendido y puesta a punto del horno rotatorio bajo las siguientes condiciones:
 - a) colocación de un termopar tipo K a 20cm de el extremo por donde sale el material del horno, conectado a un multímetro digital para monitorear la temperatura.
 - b) encendido del sistema de rotación cuya velocidad es de 11.5 R.P.M.
 - c) encendido y regulación de la flama del quemador.
- 4.- Retiro del termopar y multímetro ya que el horno alcanzó la temperatura de prueba.
- 5.- Carga de la muestra correspondiente e inclinación del equipo con un ángulo de 30° usando el sistema hidráulico.
- 6.- Registro del tiempo y el peso final de cada muestra al término del experimento.
- 7.- Tabulación de los datos y obtención de la pérdida de peso y de su porcentaje.
- 8.- Comentarios.

Procedimiento experimental para pruebas de tipo continuo.

PROPÓSITO.- Determinar la capacidad operativa del horno dadas las temperaturas de operación recomendadas.

- 1.- Para las pruebas de tipo continuo se seleccionó un tiempo de 25 minutos.
- 2.- Marcado y pesado de suficientes muestras de 1 Kg.
- 3.- Puesta a punto del horno (de manera similar que en el procedimiento anterior) con la siguiente restricción: las temperaturas de trabajo para estas pruebas son 535° C y 585° C.
- 4.- Registro de la entrada de cada muestra de 1 Kg. durante el transcurso de la prueba; y registró del peso de la salida del horno cada 5 minutos. La finalidad de lo anterior es conocer el comportamiento del equipo durante el proceso.
- 5.- Empaquetado y marcado de las muestras de salida.
- 6.- Tabulación de los resultados obtenidos para conocer el porcentaje de pérdida de peso.
- 7.- Comentarios.

Procedimiento experimental para la obtención de la granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch.

PROPÓSITO.- Encontrar la distribución del tamaño de partícula resultante de la operación del horno en las diferentes condiciones estudiadas anteriormente.

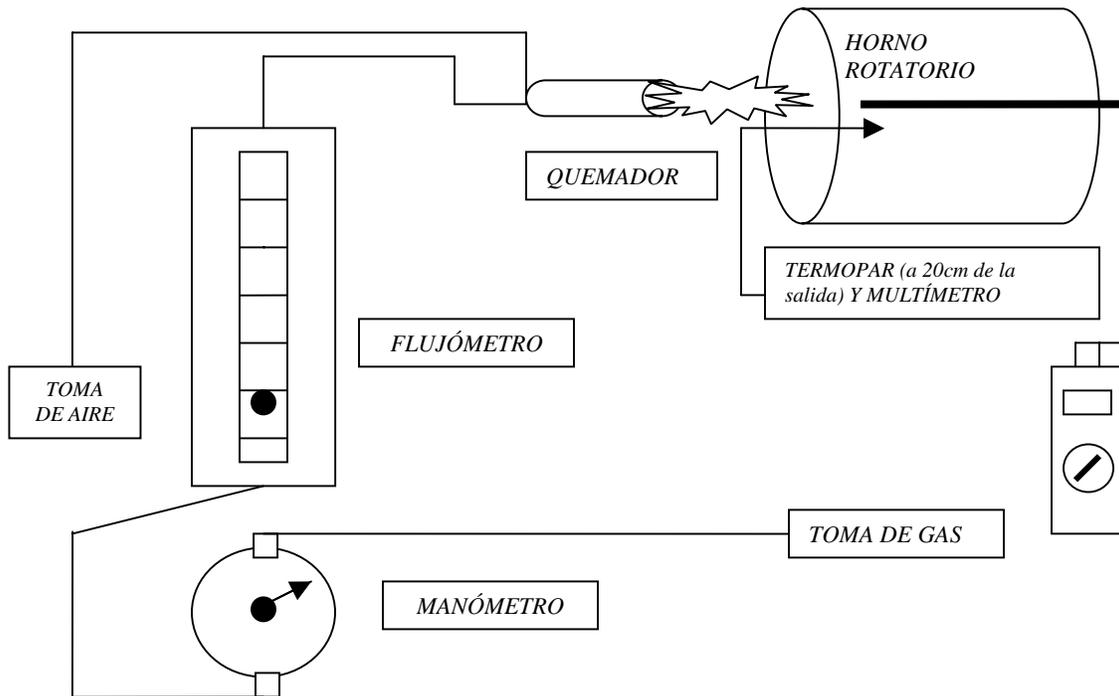
- 1.- Para tamizar las muestras se utilizaron las siguientes cribas U.S. estándar: 1 $\frac{3}{4}$, 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ (de pulgada), mallas 4, 7, 10 en un equipo ROTAP.
- 2.- Separación de las muestras en medios kilos para pasarlas por el ROTAP durante 15 minutos.
- 3.- Pesado y empaquetado de las muestras, posterior al cribado.
- 4.- Registro del peso de cada criba, y obtención de la distribución porcentual de tamaño de partícula de cada muestra.
- 5.- Comentarios.

Procedimiento experimental para determinación del consumo de gas del horno rotatorio en condiciones de operación.

PROPÓSITO.- Conocer el consumo de gas requerido para operar el horno a la temperatura y carga óptimas encontradas.

- 1.- Colocación de un medidor de flujo conectado a la entrada de gas del quemador.
- 2.- Puesta a punto del horno (como se hizo en los procedimientos para prueba tipo batch y tipo continuo)
- 3.- Registro de flujo y presión a la que sale el gas.

Figura 14. Colocación del sistema para medición de flujo de gas



Lectura: flujo = 3.5 litros/minuto presión = 20 lbplg².

CAPITULO IV. RESULTADOS

Los resultados se presentan en el orden correspondiente al diagrama presentado en el capítulo anterior.

Determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida.

Tabla 6. Determinación del % de pintura en envases de aluminio para bebida (T = 530° C, t = 45min)

No. DE PRUEBA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PERDIDA (g)	% PERDIDA
1	13.939	13.604	0.335	2.40332879
2	13.432	13.168	0.264	1.96545563
3	13.831	13.492	0.339	2.45101583
4	13.715	13.4	0.315	2.29675538
5	13.75	13.5	0.25	1.81818182
6	13.787	13.464	0.323	2.34278668
MEDIA	13.74233333			13.2775241
DESVEST	0.170673568		MEDIA	2.21292069
			DESV.EST	0.2584166

Comentarios: las pruebas se realizaron con diferentes marcas de envase para dar representatividad a los resultados

Determinación de la carga del horno rotatorio.

Esta prueba determinó que la capacidad de operación del horno en un momento dado es de 1Kg; también proporcionó un dato interesante, lata sin tratar se salía horno por lo cual se rediseñaron las tapas para corregir este problema.

Pruebas tipo batch.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los experimentos tipo batch.

Tabla 7. Resultados obtenidos de los experimentos tipo batch

EXPERIMENTOS TIPO BATCH	PESO INICIAL (g)	TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)	TIEMPO (min)	PESO FINAL (g)	DIFERENCIA EN PESO (g)	DIFERENCIA EN %
1	1032.7	500	28	983.7	49	4.744843614
2	997.3	504-507	28	950.7	46.6	4.672616063
3	1044.1	504-507	28	1001	43.1	4.127957092
					PROMEDIO	4.515138923
					D.EST.	0.337248473
4	930.4	535	5.8	882.2	48.2	5.180567498
5	825.3	535	7	782.5	42	5.089058524
6	1021.2	535-537	06:07	965.9	55.3	5.415197807
					PROMEDIO	5.22827461
					D.EST.	0.168222128
7	1011.2	584-585	03:30	970.9	40.3	3.985363924
8	1011.4	584-585	03:30	972.6	38.8	3.836266561
9	1009.2	584-590	03:30	970	39.2	3.884264764
					PROMEDIO	3.901965083
					D.EST.	0.076108356

Pruebas de tipo continuo.

Tabla 8. Resultados obtenidos de las pruebas de tipo continuo para pérdida de peso.

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	ENTRADA (g)	SALIDA (g)	DIFERENCIA (g)	DIFERENCIA EN %
C1	535	7555.3	7253.7	301.6	3.991899726
C2	535	7834.2	7501.2	333	4.250593551
C3	535	7861.3	7512.4	348.9	4.438197245
				PROMEDIO	4.226896841
				D.EST.	0.224090427
C4	580	10258.3	9841	417.3	4.067925485
C5	580	9754.9	9325.1	429.8	4.405990835
C6	580	9002	8602.5	399.5	4.437902688
				PROMEDIO	4.303939669
				D.EST.	0.205016129

Gráfica 2. Comparativa de los valores promedio de pruebas tipo batch y continuo Vs. el valor “teórico experimental” encontrado.

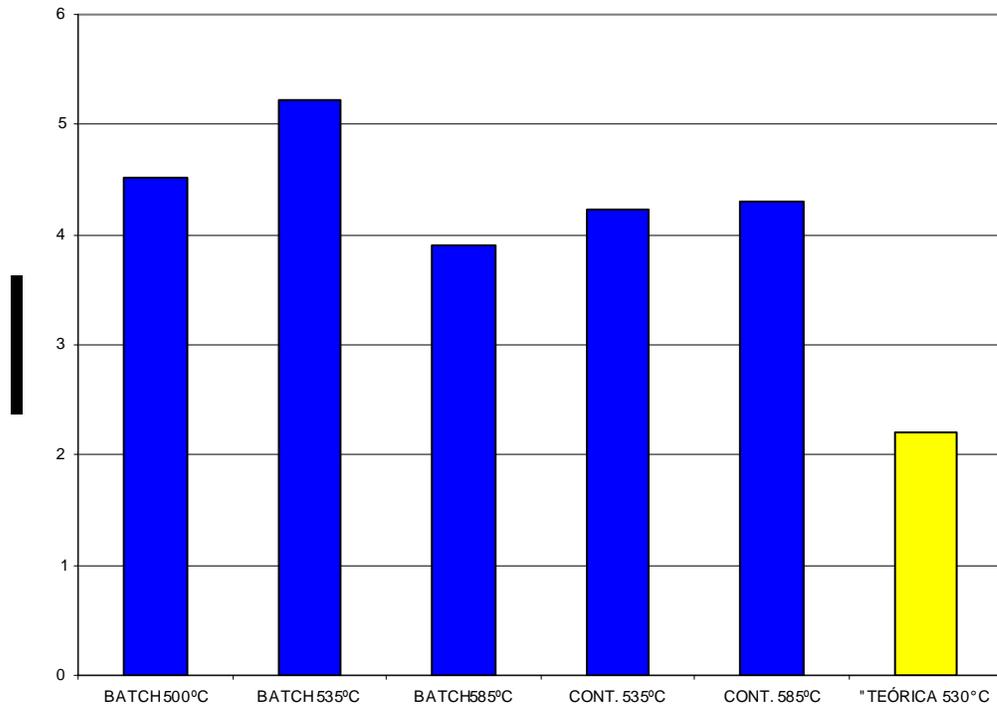


Tabla 9. Control de alimentación del horno durante la realización de las pruebas tipo continuo a 535° C.

TEMPERATURA 535°C								
C1			C2			C3		
TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)	TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)	TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)
2.25	989.9	989.9	3.516	1159.2	1159.2	1.85	950.2	950.2
6.116	1062.1	2052	7.583	921.8	2081	7.05	1028.8	1979
9.416	1019.1	3071.1	10.2	915.6	2996.6	11.666	920.4	2899.4
12.783	865.1	3936.2	12.7	1073.1	4069.7	14.433	1168.1	4067.5
15.883	1006.6	4942.8	15.116	961.1	5030.8	16.483	848.8	4916.3
19.166	1149.6	6092.4	17.966	994.8	6025.6	18.566	854.6	5770.9
22.25	1008	7100.4	19.35	351.1	6376.7	20.95	832.7	6603.6
24.416	454.9	7555.3	21.616	894.9	7271.6	23.35	853.5	7457.1
			23.15	562.6	7834.2	24.45	404.2	7861.3

P.A. = peso acumulado

Tabla 10. Control de alimentación del horno durante la realización de las pruebas tipo continuo a 585° C.

TEMPERATURA 585° C								
C4			C5			C6		
TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)	TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)	TIEMPO (min)	PESO (g)	P.A. (g)
2.4	1004.2	1004.2	2.233	982.4	982.4	1.08333333	484.3	484.3
5.25	1187.7	2191.9	4.583	1006.6	1989	3	492.4	976.7
7.466	944.2	3136.1	7.333	971.7	2960.7	5.23333333	518.8	1495.5
9.183	960.7	4096.8	9.333	1009.9	3970.6	6.46666667	501.5	1997
11.05	892.6	4989.4	11.933	923.7	4894.3	7.68333333	496.4	2493.4
12.933	898.8	5888.2	15.06	1010	5904.3	9.15	542.9	3036.3
14.933	870.7	6758.9	17.633	993	6897.3	10.8833333	525.7	3562
17.183	1053.4	7812.3	20.283	1001.8	7899.1	12.05	491.4	4053.4
19.45	921.8	8734.1	22.466	943.9	8843	13.5333333	493.1	4546.5
21.583	865.2	9599.3	24.516	911.9	9754.9	14.7166667	496.4	5042.9
23.383	659	10258.3				16.25	506	5548.9
						17.75	519.3	6068.2
						19.2	488.3	6556.5
						20.9333333	501.2	7057.7
						22.0166667	431.1	7488.8
						23.0333333	504.8	7993.6
						24.25	504.9	8498.5
						25	503.5	9002

P.A. = peso acumulado

La primera columna de las tablas 9 y 10 se refiere al tiempo en que se terminó de cargar cada paquete; la segunda columna se refiere al peso de cada paquete; la última columna que tiene como título P.A. (g) y se refiere al peso acumulado hasta el tiempo registrado en la primera columna.

Tabla 11. Control de salida de las pruebas de tipo continuo a 535° C

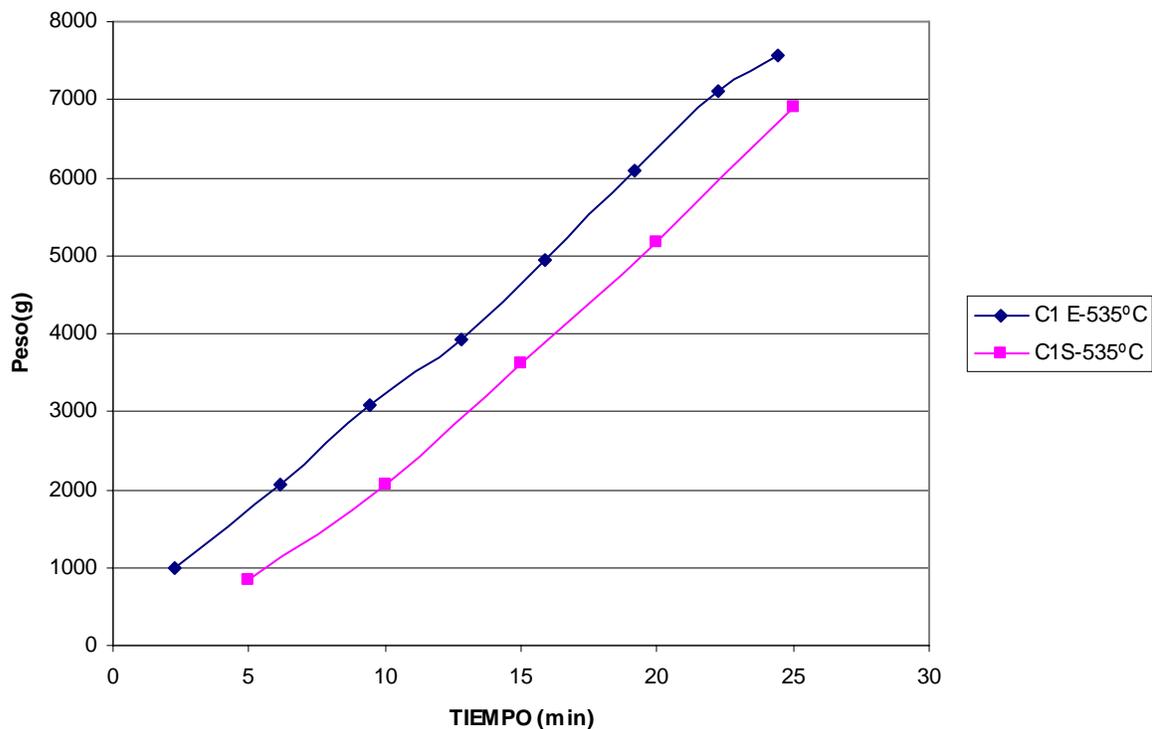
TEMPERATURA (535° C)						
MUESTRA	C1		C2		C3	
TIEMPO (min)	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO
5	845.1	845.1	235.8	235.8	412.3	412.3
10	1231.3	2076.4	1378.3	1614.1	934.6	1346.9
15	1532.9	3609.3	1601.5	3215.6	1547.8	2894.7
20	1562.9	5172.2	1947.9	5163.5	2158	5052.7
25	1720	6892.2	2050.5	7214	2006.6	7059.3
lo que queda en el horno	361.5	7253.7	287.2	7501.2	453.1	7512.4
TOTAL	7253.7		7501.2		7512.4	

Tabla 12. Control de salida de las pruebas de tipo continuo a 585° C.

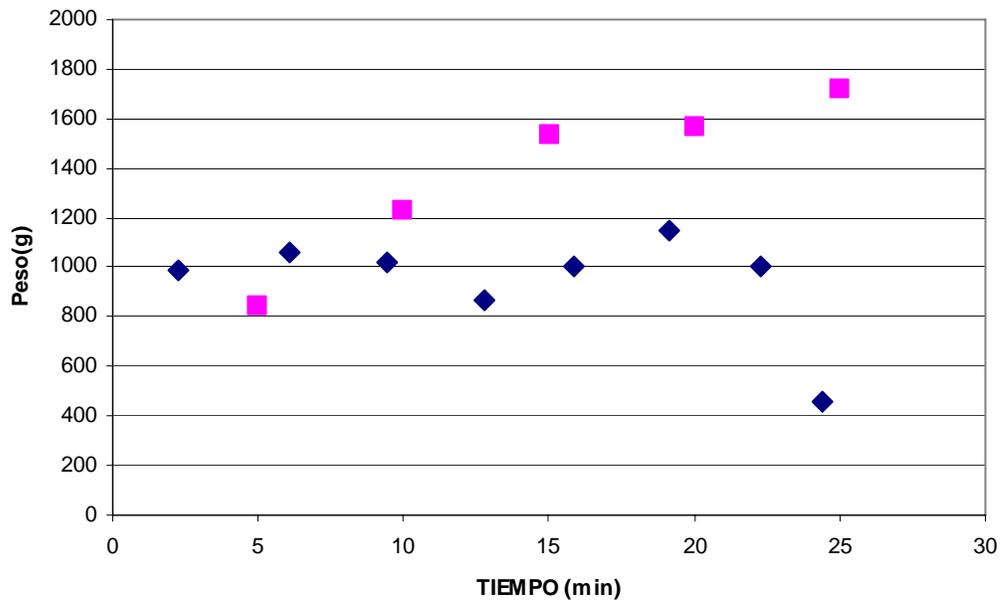
TEMPERATURA (585° C)						
MUESTRA	C4		C5		C6	
TIEMPO (min)	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO	PESO (g)	PESO (g) ACUMULADO
5	684.4	684.4	1185	1185	730	730
10	2053.5	2737.9	2021.1	3206.1	1728.1	2458.1
15	2418.1	5156	1603.7	4809.8	1720.8	4178.9
20	2310.8	7466.8	1743.7	6553.5	1618.6	5797.5
25	1962.4	9429.2	1868.1	8421.6	1911	7708.5
lo que queda en el horno	411.8	9841	903.5	9325.1	894.2	8602.7
TOTAL	9841		9325.1		8602.7	

La notación empleada en las siguientes graficas se interpreta así: C1(E/S)-535° C, C1 corresponde a la prueba, E corresponde a entrada de alimentación del horno, S es salida del horno, -535° C es la temperatura de la prueba.

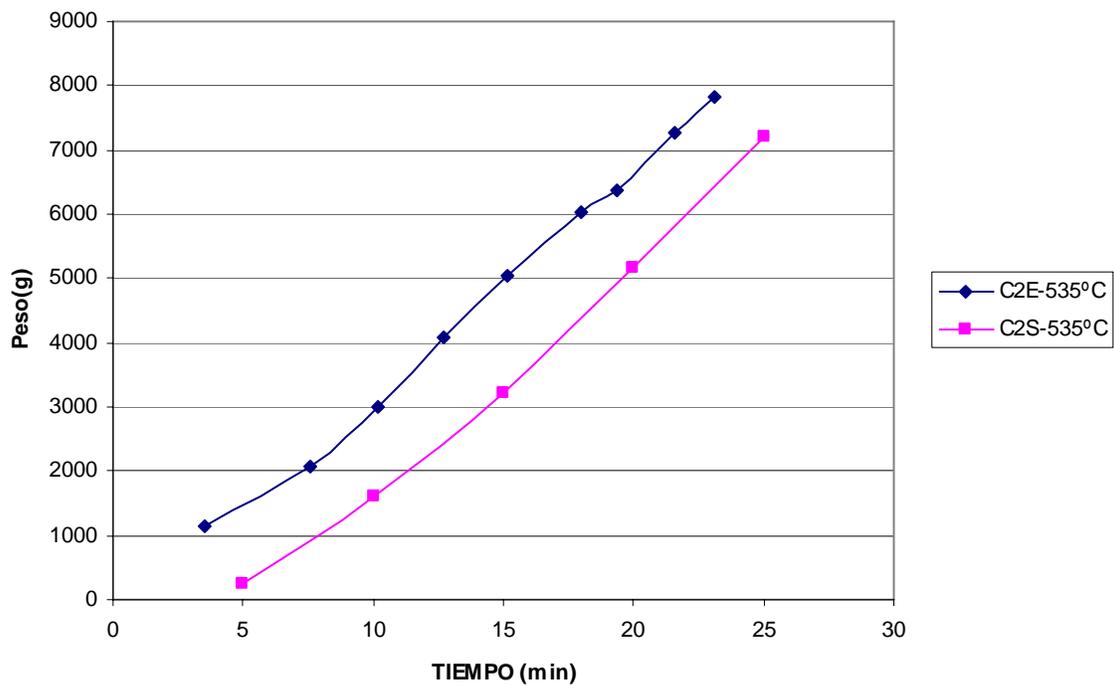
Gráfica 3. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C1 tipo acumulado



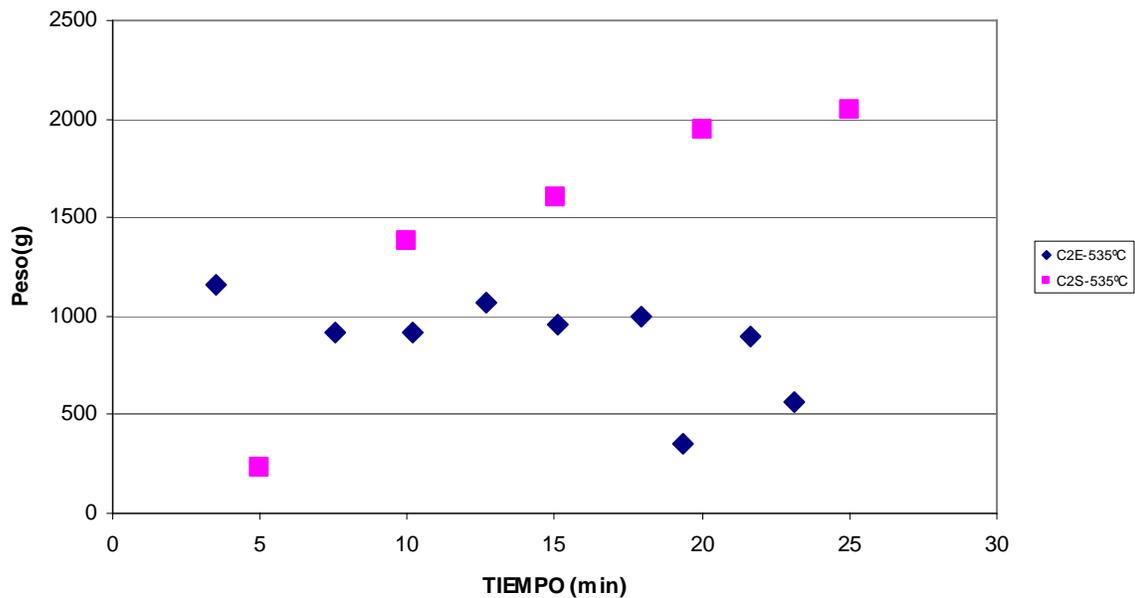
Gráfica 4. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C1 tipo puntual



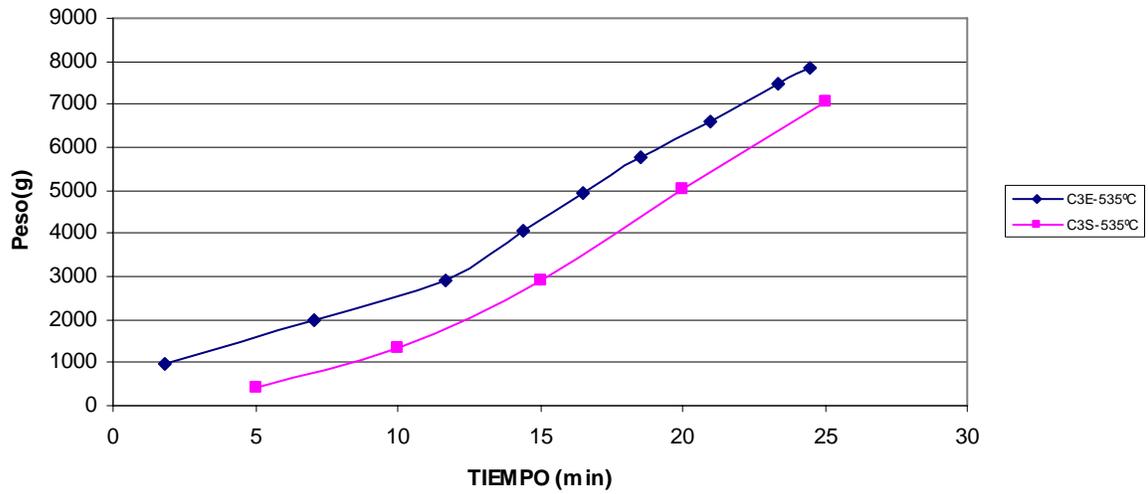
Gráfica 5. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C2 tipo acumulado



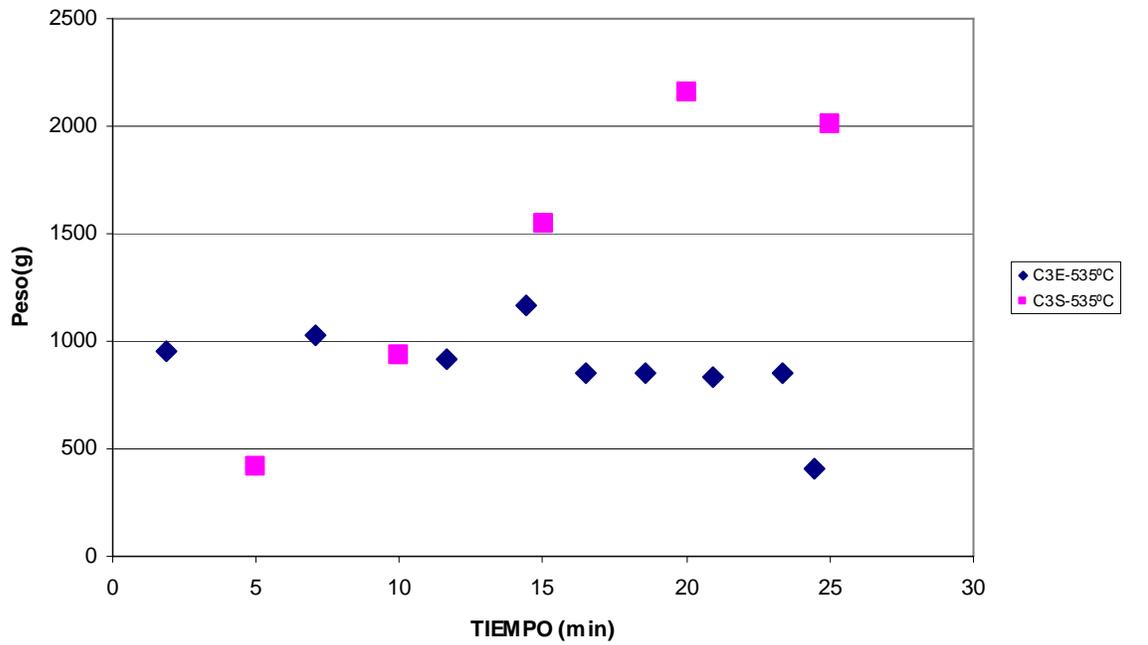
Gráfica 6. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C2 tipo puntual



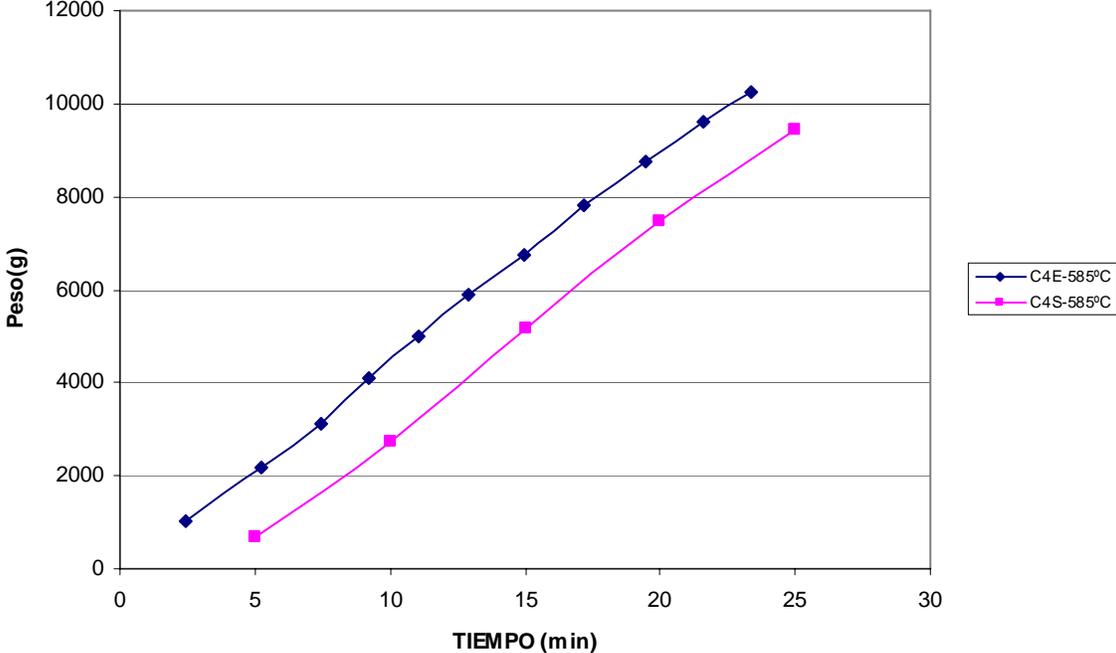
Gráfica 7. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C3 tipo acumulado



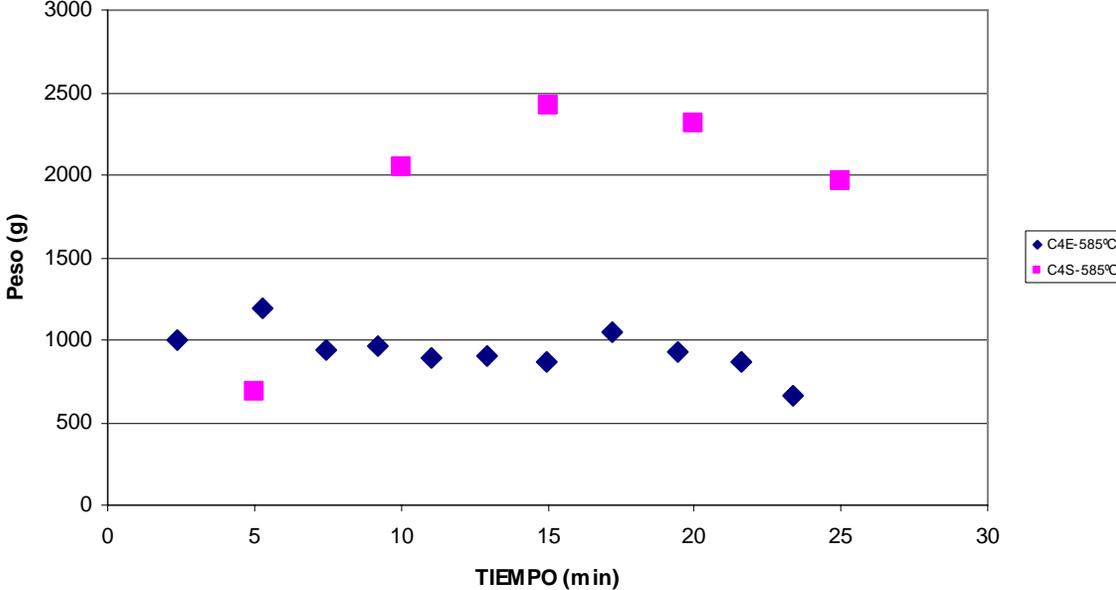
Gráfica 8. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C3 tipo puntual



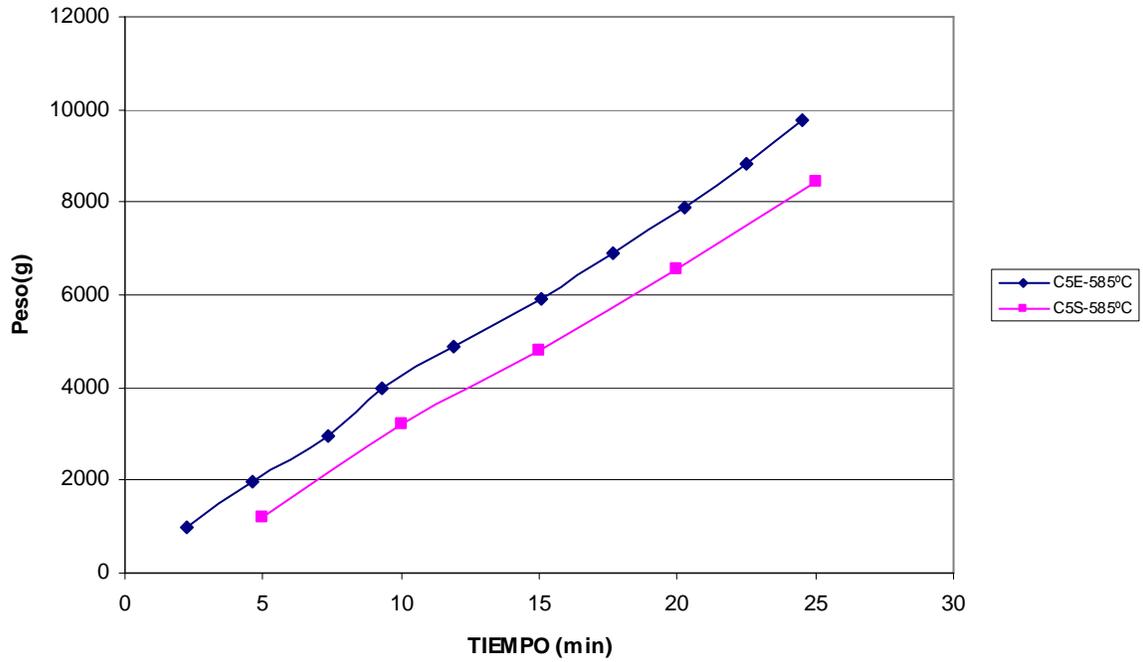
Gráfica 9. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C4 tipo acumulado



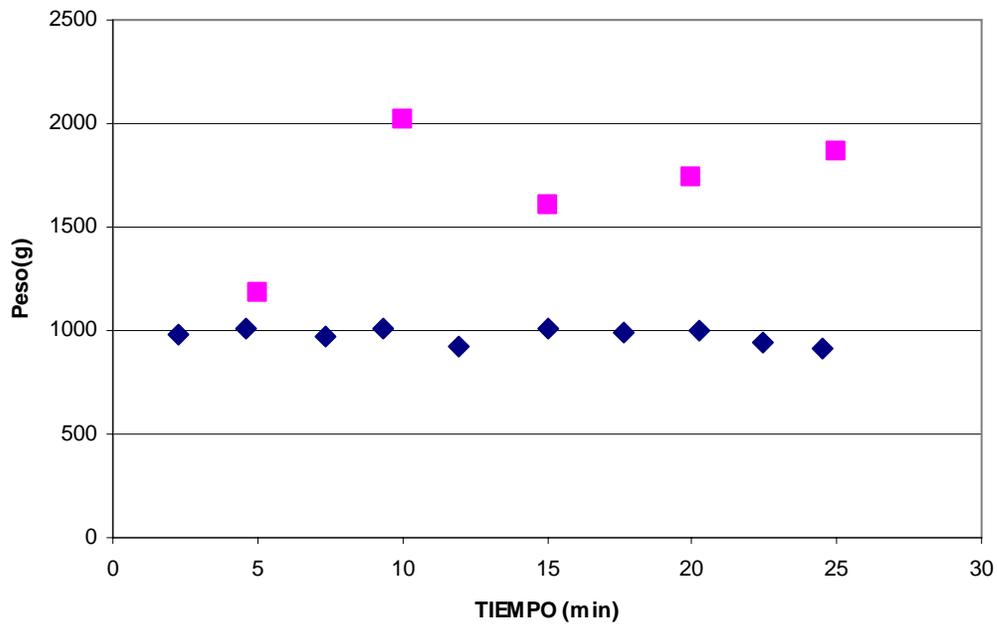
Gráfica 10. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C4 tipo puntual



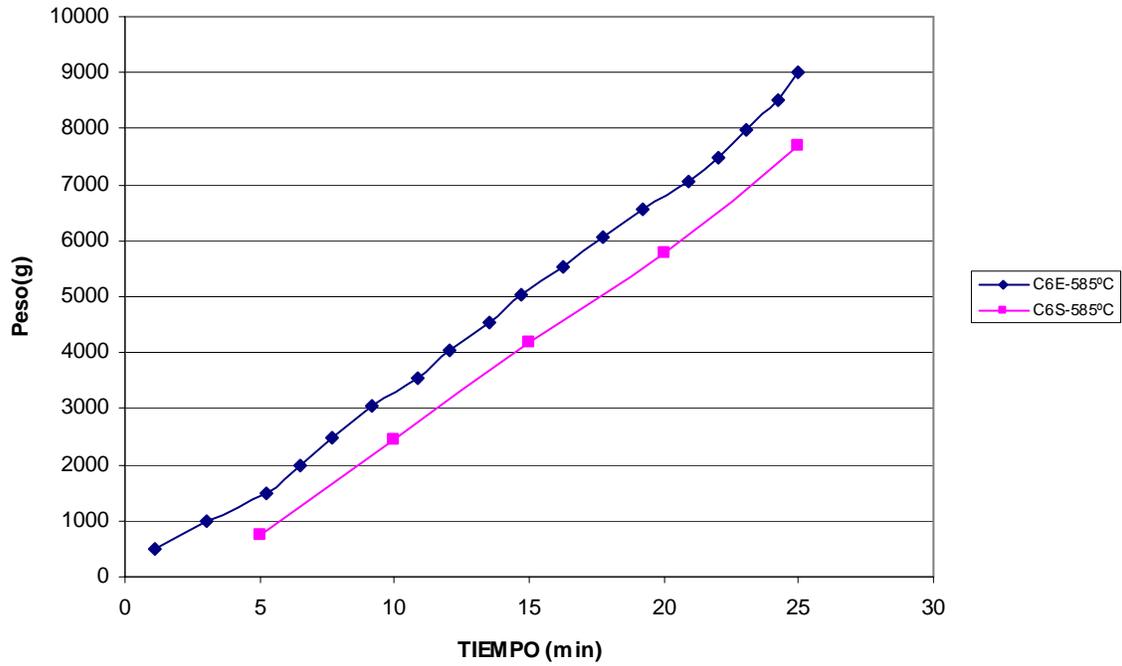
Gráfica 11. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C5 tipo acumulado



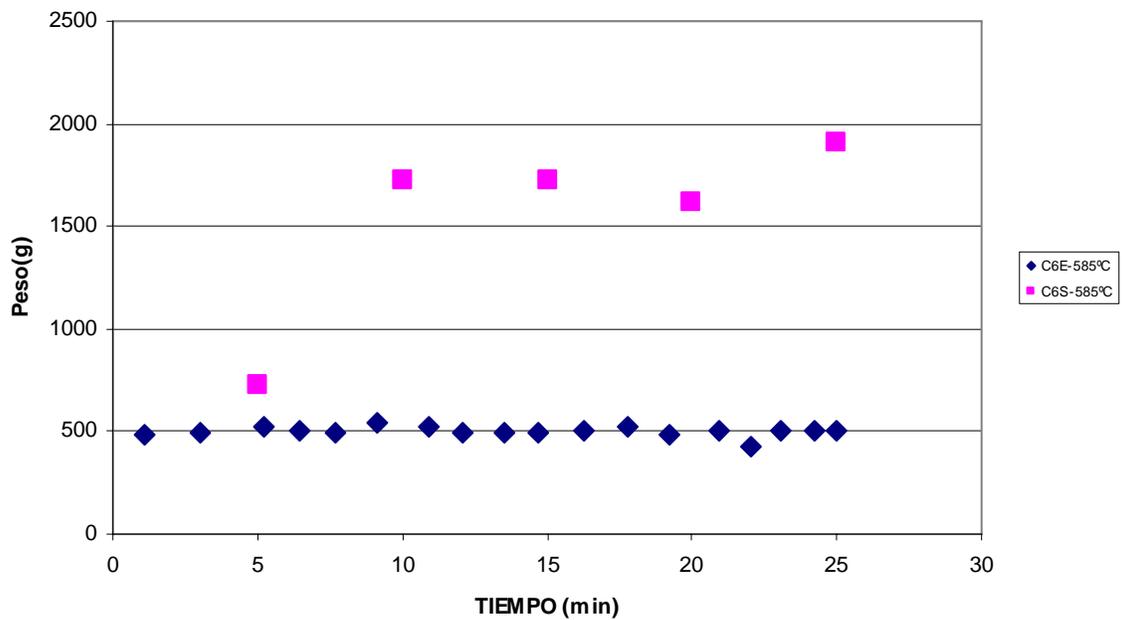
Gráfica 12. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C5 tipo puntual



Gráfica 13. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C6 tipo acumulado



Gráfica 14. Curvas comparativas entrada salida para la prueba C6 tipo puntual



Granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch.

Tabla 13. Reporte de granulometría obtenida en pruebas batch a 500° C

MUESTRA	B1	B2	B3	B4	PROMEDIO	D. EST
MALLA (+) plg	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO 500° C	
1 ¾	53.9185937	70.4181043	77.0202548	70.7817823	68.0346838	9.88655195
1	1.60092079	0.48711183	3.12173731	0.79792003	1.50192249	1.17743519
0.5	4.40514806	2.28333672	3.94654416	2.12479828	3.1899568	1.15551387
0.25	11.332008	6.23097219	6.06598455	4.22270038	6.96291627	3.05166479
0.185	4.5097834	3.05459712	2.10899979	16.5859781	6.56483961	6.75333952
0.111	9.5008894	5.50030444	2.29693047	1.90066344	4.79969694	3.52421607
0.0661	6.23626661	4.68845139	2.01503445	1.64963242	3.64734622	2.19406099
PAN	8.49639008	7.33712198	3.42451451	1.93652501	5.2986379	3.11967829

Gráfica 15. Granulometría obtenida en pruebas tipo batch a 500° C

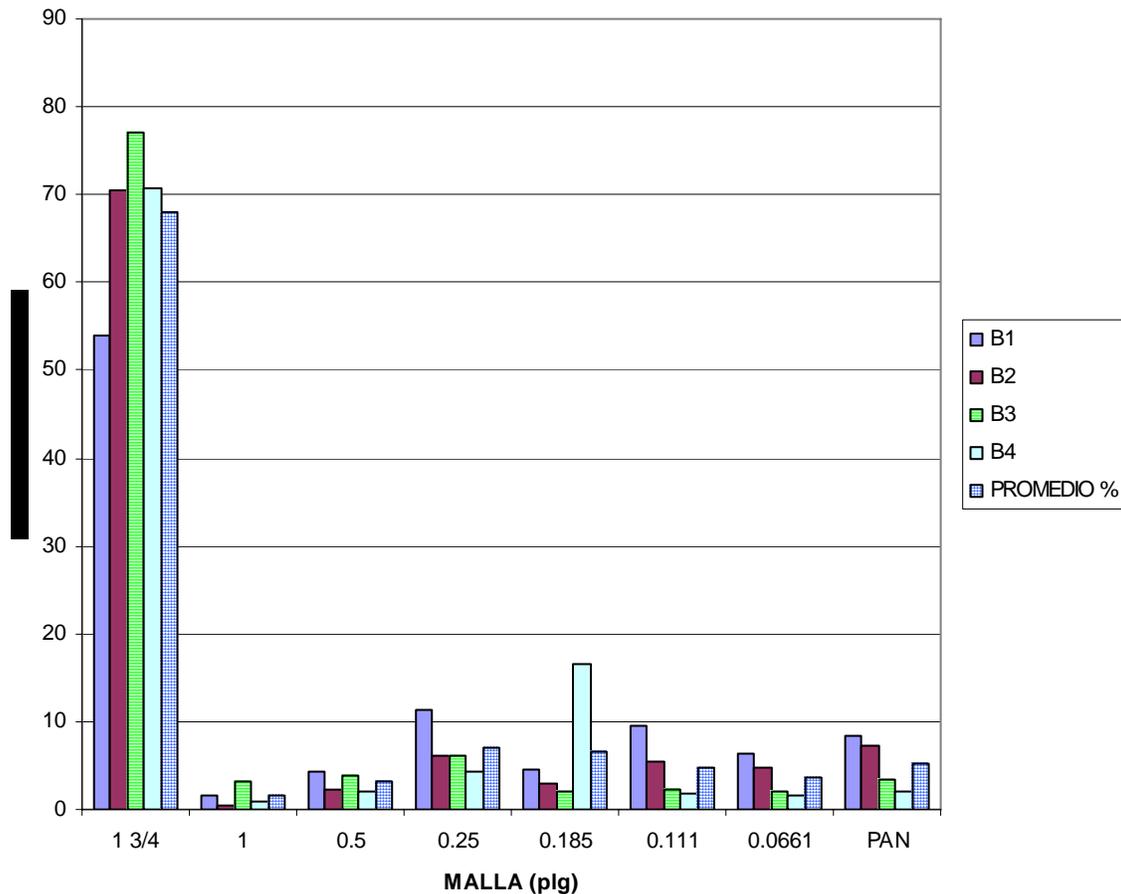


Tabla 14. Reporte de granulometría obtenida en pruebas tipo batch a 535° C

MUESTRA	B5	B6	B7	B8	PROMEDIO	D. EST
Malla (+) µg	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	% W PROM 530° C	
1 ¾	10.5069947	4.12717823	13.730112	4.67776434	8.26051232	4.65058194
1	5.03026094	2.23173341	2.79316441	0.83697573	2.72303362	1.74421009
0.5	11.5289215	3.12850301	7.28344137	3.66409374	6.40123991	3.884764
0.25	15.0510963	21.1148477	29.3223335	17.6601879	20.7871163	6.20851425
0.185	14.7137613	12.2694385	12.0329994	9.21603274	12.058058	2.24908701
0.111	16.3805933	24.3350657	21.7088981	21.1754859	20.9000108	3.31435876
0.0661	9.2965572	15.5304188	12.1272834	22.0403608	14.7486551	5.488688
PAN	17.4918147	17.2628146	14.7318798	20.7290989	17.553902	2.45860876

Gráfica 16. Granulometría obtenida en pruebas tipo batch a 535° C

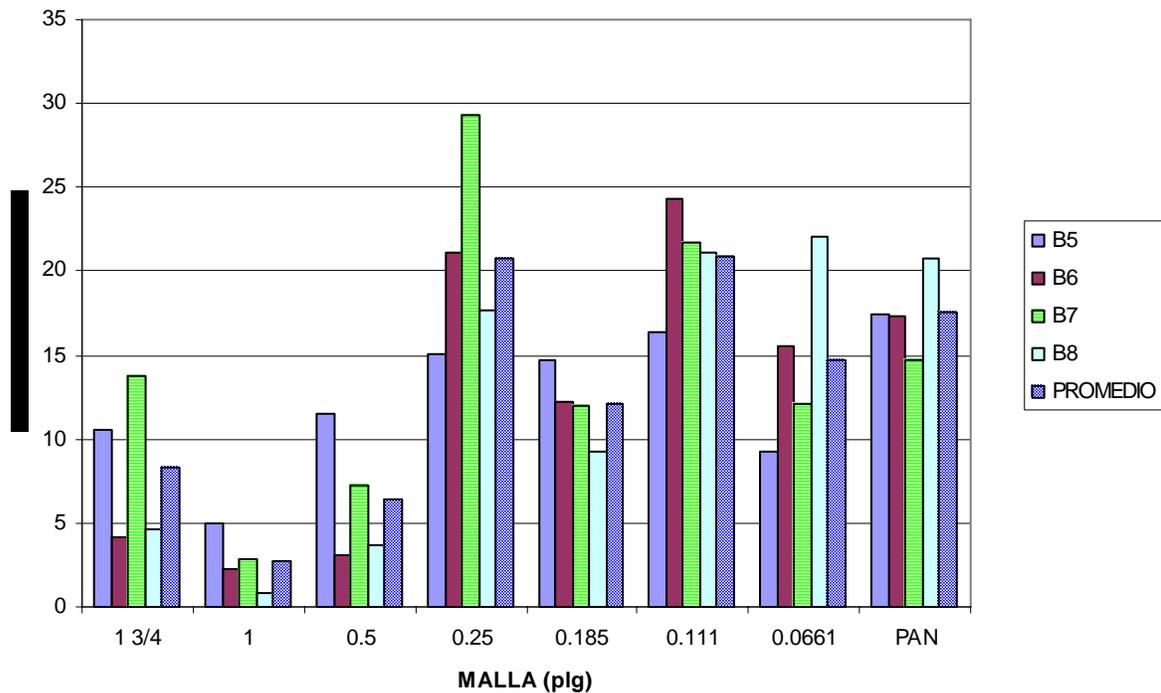


Tabla 15. Reporte de granulometría obtenida en pruebas de tipo batch a 585° C

MUESTRA	B9	B10	B11	B12	PROMEDIO	D. EST
MALLA (+) p/g	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	% EN PESO	%W PROM 585° C	
1 3/4	0.51529923	5.73215751	5.29381707	0.56663169	3.02697637	2.87624696
1	2.70119859	1.81501231	3.87327542	0.36726128	2.1891869	1.4784823
0.5	2.93720564	7.00369155	7.10270823	4.4386149	5.37055508	2.03774314
0.25	22.7556142	29.3580804	25.0281042	27.9013641	26.2607907	2.94903729
0.185	13.6038998	11.9155045	11.1190598	13.0954879	12.433488	1.1260752
0.111	25.4248642	19.9241181	20.7869188	24.4176285	22.6383824	2.69105592
0.0661	15.1807154	11.331009	11.6402657	13.6411333	12.9482809	1.80649573
PAN	16.8812029	12.9204266	15.1558508	15.5718783	15.1323396	1.64770842

Gráfica 17. Granulometría obtenida en pruebas tipo batch a 585° C

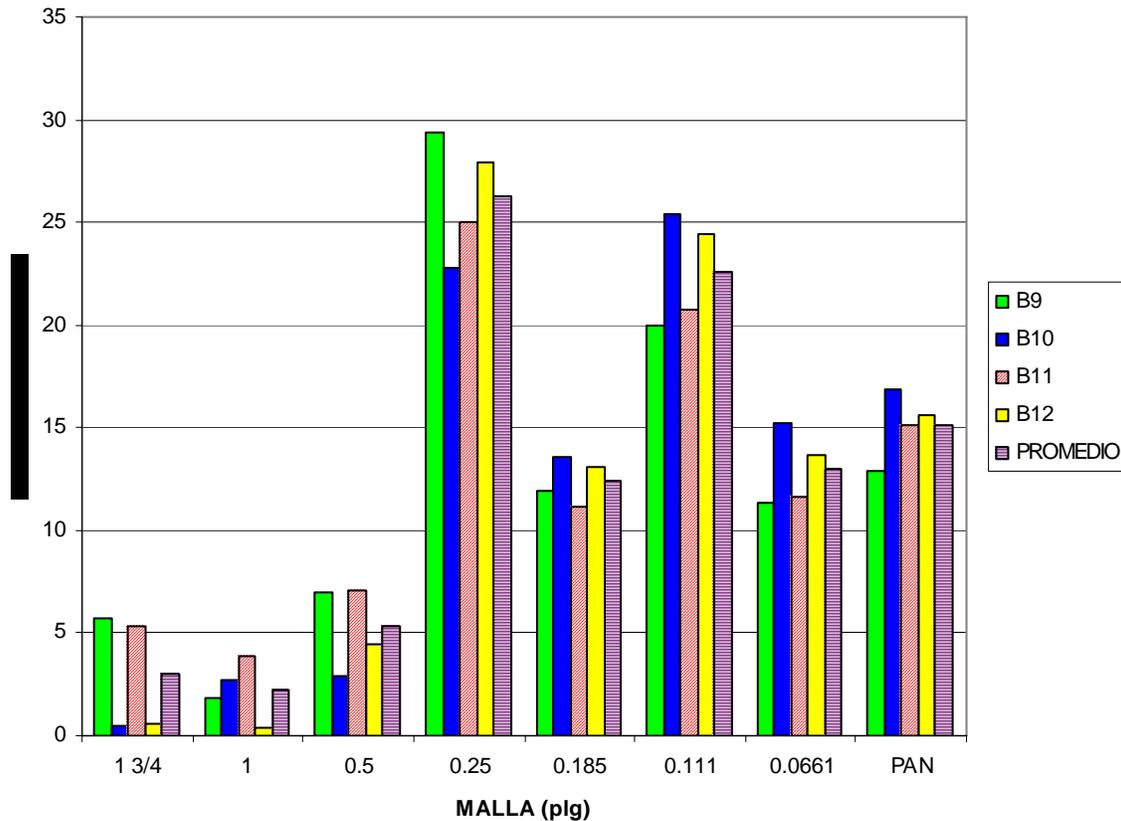
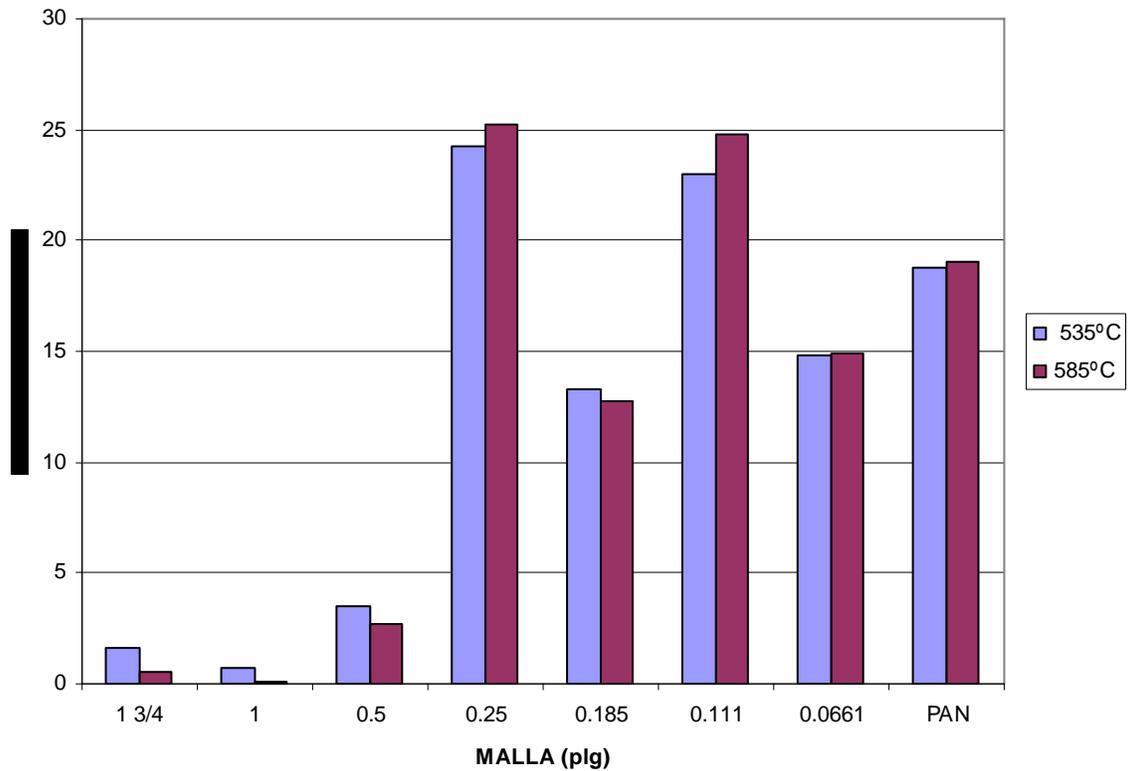


Tabla 16. . Reporte de granulometría obtenida en pruebas de tipo continuo a 535° C y 585°

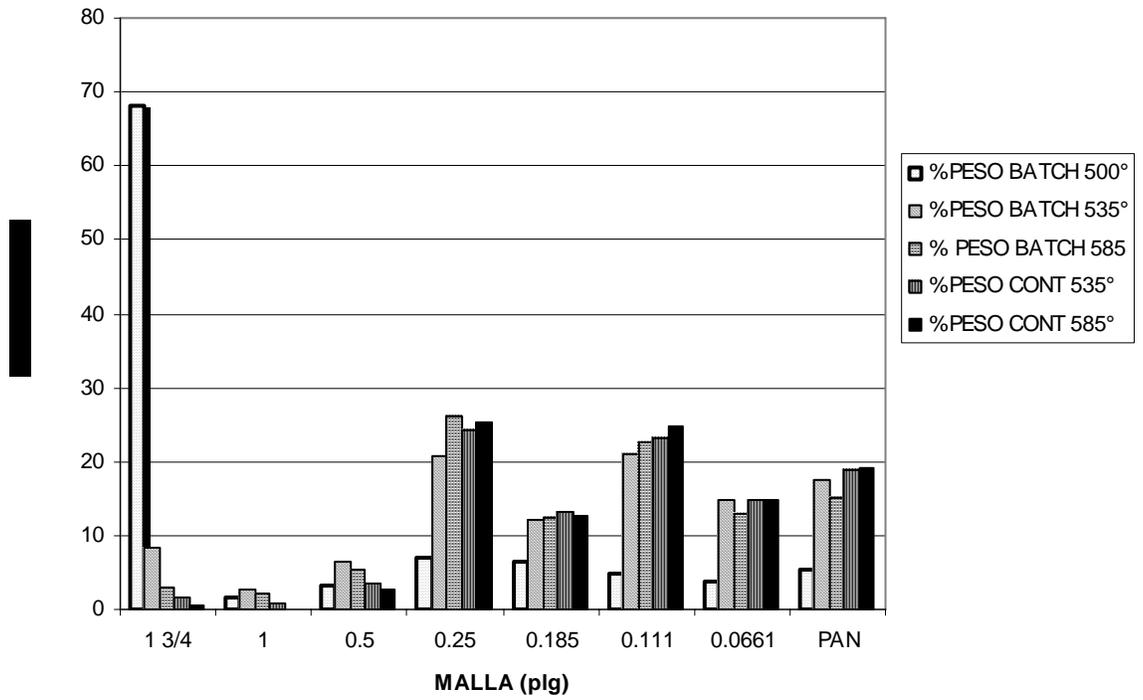
C.

MUESTRA	C1-535° C	C6-585°C
MALLA (+) p/g	% EN PESO	% EN PESO
1 3/4	1.64331193	0.5520657
1	0.67657696	0.08178751
0.5	3.47639544	2.68081288
0.25	24.2220053	25.2473504
0.185	13.292262	12.7100065
0.111	23.0311198	24.781616
0.0661	14.85719	14.9137255
PAN	18.8011386	19.0326355

Gráfica 18. Comparativo de granulometría obtenida en pruebas de tipo continuo



Gráfica 19. Comparativo de los promedios de las pruebas batch a tres temperaturas contra los resultados de las pruebas continuas a 2 temperaturas.



Determinación del consumo de gas del horno rotatorio en condiciones de operación.

Lectura: **flujo = 3.5 litros/minuto** **presión = 20 lb/in² = 1.36 atm.**

Se reporta que la composición molar del gas combustible utilizado es:

80% propano 20 % butano (datos de la empresa gasera)

P.M. propano = 44 g/mol

P.M. butano = 58 g/mol

Se calcula la masa molar de la mezcla multiplicando la fracción mol del componente en la mezcla por el peso molecular del componente, y sumando los datos obtenidos:

(0.8 mol propano) (44 g propano/ mol propano) = 35.2 g propano

(0.2 mol butano) (58 g butano/ mol butano) = 11.6 g butano

Entonces se tiene: **P.M. mezcla = 46.8 g/mol**

Considerando gas ideal:

$n/V = P / RT$ se calcula la densidad molar

$n/V = 1.36 \text{ atm} / (0.08205 \text{ atm l} / \text{mol K}) (298.15 \text{ K}) = (0.0555 \text{ mol} / \text{l})$

Multiplicando el volumen molar por el P.M. de la mezcla se obtiene la densidad de la mezcla:

Densidad de la mezcla = (0.0555 mol / l) (46.8 g/mol) = **(2.6 g / l) = (2.6E-3 Kg / l)**

(Densidad * flujo volumétrico) = flujo másico

(2.6E-3 Kg / l) (3.5l/min) (60 min / 1hr) (8hr / 1 turno) = (4.37 Kg gas/ turno)

Si se consideran 8 kilos de aluminio tratado en 25 minutos:

60minutos/ 25minutos= 2.4cargas por hora =19.2 Kg Al por hora = **153.6 kg por turno**

Entonces en un turno:

(153.6 Kg Al / 4.37 Kg gas) = (35.14 Kg Al / Kg gas)

30 Kg gas =\$265 (mes febrero 2006) entonces ----- **1Kg gas cuesta \$8.8333**

Por lo tanto el costo energético de producción será:

(35.14 Kg Al / \$8.8333) = (**3.97 Kg Al / \$1**).

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Determinación del porcentaje en peso de pintura en los envases de aluminio para bebida.

El porcentaje “teórico- experimental” que se refiere al porcentaje promedio de pintura y laca de una lata de aluminio y que no se encontró reportado en la literatura, debido a que cada fabricante tiene su propia formulación, y por lo tanto tuvo que ser determinado experimentalmente es de 2.21 g. El peso promedio de un envase de aluminio con pintura y laca para bebida es de 13.74g.

Pruebas tipo batch.

Al realizar esta etapa de la experimentación, se observó que los cambios en las tapas funcionaron adecuadamente. Se aprecia que la mayor pérdida de peso esta en 535° C, con un 5.22% ; en 500° C hay una perdida de peso elevada, pero con dos condiciones desfavorables: el bote de aluminio no se troza, y el tiempo de residencia es muy largo ; para la temperatura de 585° C se aprecia el mejor tiempo 3:30 minutos pero la pérdida de peso no es la mayor registrada, posiblemente se debe a que después de quemadas la pintura y lacas, la lata se alcanza a oxidar y a fundir parcialmente en consecuencia se genera un pequeño repunte en el peso.

Se pudo apreciar una baja en la temperatura en el interior del horno de alrededor de 50 a 70° C cuando se trabajó a 500° C; y cuando trabajamos a 535° C y 585° C la temperatura de trabajo del horno aumentó entre 100 y 120° C.

Pruebas de tipo continuo.

Durante la realización de estas pruebas se encontró diferentes tipos de basura dentro de las muestras (plásticos, pilas, papel, etc.) lo cual nos demuestra lo importante que es retirar cualquiera de estas inclusiones dentro de la chatarra antes de procesarla en el horno. Este tipo de prueba se realizó con el fin de conocer la capacidad de operación del horno durante un período de tiempo determinado. Para ello se cuantificó la entrada de material al horno, como también la salida, obteniendo gráficos de Alimentación vs. Salida; además de la pérdida de pintura encontrada.

La gráfica Comparativa de los valores promedio de pruebas tipo batch y continuo Vs. el valor “teórico experimental” encontrado, nos presenta una visión rápida de los % de pérdida de peso en las diferentes condiciones. Las pruebas batch nos sirven de pauta para determinar la temperatura de operación para las pruebas continuas, no solo tomando en cuenta la temperatura misma con relación a la pérdida de peso, sino también, el tiempo de proceso, y las características del producto reciclado. Al revisar esta gráfica encontramos que la condición óptima para realizar las pruebas continuas es la temperatura de 535° C. Se realizaron pruebas a 535° C y 585° C, ambas temperaturas establecidas en el diseño de experimentos, para observar el comportamiento del equipo en el proceso continuo.

Se encontró un comportamiento muy similar en cuanto a la pérdida de peso para ambas temperaturas, pero ambas tienen pros y contras:

- a) a 585° C se registró una pérdida de peso de 4.3 %, se encontró que el producto reciclado presentó cierta fusión parcial, y ligera oxidación, pero la capacidad de reciclaje es 15-36 % más comparada con la registrada a 535° C.

- b) a 535° C se registró una pérdida de peso de 4.22 %, encontrándose el producto reciclado en condiciones muy buenas, poca fusión parcial y prácticamente nula oxidación, siendo la capacidad de reciclaje bastante menor que la registrada a 585°C

En cuanto a la pérdida de peso reportada como “Teórica” de un 2.2 % podemos recalcar que únicamente se trata de pérdida de pintura. Al comparar este resultado con el obtenido de las otras pruebas señaladas en la gráfica se puede afirmar que alrededor de un 2% de lo reportado como pérdida de peso corresponde a todos los elementos no deseables como tierra, papel, plástico y hasta baterías encontradas en las muestras.

Se realizó un control en la alimentación y en la salida del horno durante la realización de las pruebas de tipo continuo, con el fin de recabar información que indique como se comporta el equipo. Los datos obtenidos se trataron de dos diferentes formas:

- a) se presentaron en curvas comparativas pares (entrada- salida) de tipo acumulado, es decir los datos registrados en cada lectura de tiempo se sumaron a los datos registrados en la siguiente lectura de tiempo, obteniendo de esta manera un acumulado.
- b) Se presentaron en curvas comparativas pares (entrada- salida) de tipo puntual, es decir los datos registrados en cada lectura de tiempo quedan de esta manera plasmados en la gráfica.

En cuanto a las curvas comparativas de tipo acumulado a 535° C se puede observar que el rango de reciclado oscila entre 7.5 Kg. y 7.8 Kg. en un tiempo de 25 minutos; para las curvas comparativas de tipo acumulado a 585° C se observa que el rango de reciclado oscila

entre 9 Kg y 10.2 Kg. En el caso de este tipo de curvas ya que son acumulativas podemos hacer una aproximación y saber que es lo que entra y sale a cada instante.

Cuando se analizan las gráficas de tipo puntual podemos encontrar que en la mayoría de los casos los datos de alimentación oscilan alrededor de 1 Kg exceptuando la prueba C6, (como se demuestra en la Tabla 10.) en la que los datos de alimentación oscilan alrededor de 0.5 Kg, esto sin afectar los resultados ya que la lectura de tiempo correspondiente a cada muestra es proporcional a los datos tomados con muestras de 1 Kg. Los datos recopilados referentes a la salida nos deberían dar un indicio de cómo se estabiliza el ritmo de reciclado, al principio por ejemplo, aumenta el peso hasta llegar a un máximo posteriormente decaería o bien se estabilizaría en cierto valor. La mayoría de las gráficas de este tipo muestran cuando sube el peso registrado a la salida y llega a un máximo que en el caso de las pruebas a 535° C oscila entre los 1720 g hasta 2158 g (ver Tabla 11). Solamente en la prueba C3 se llega a observar un máximo, y finalmente una caída. Las gráficas de las pruebas C4, C5, C6 correspondientes a la temperatura de 585° C presentan comportamientos diferentes: para C4 el máximo es 2418 g, para C5 es 2025g, y para C6 es 1911g (ver Tabla 12.); C4 muestra un máximo y el decaimiento, C5 muestra un comportamiento extraño en la lectura máxima en 10 minutos, y por último C6 muestra un primer máximo que se mantiene estable hasta que vuelve a aumentar en la última lectura. Las lecturas de control de salida se ven afectadas por el ritmo de alimentación (que no se pudo controlar totalmente, puesto que no hay un dosificador automático, se alimento manualmente), el tiempo propuesto para la realización de la prueba es insuficiente a este respecto, no así para dar una idea de la capacidad del equipo para procesar chatarra de lata de aluminio.

Granulometría de las pruebas tipo continuo y tipo batch.

El análisis de granulometría es sumamente importante, ya que una de las características que se debe de cuidar del producto reciclado es la distribución de tamaños. Al evaluar esta distribución de tamaños, se esta evaluando también el funcionamiento del equipo.

Se sometieron a escrutinio cuatro pruebas tipo batch por cada una de las temperaturas 500, 535 y 585° C, correspondiendo las Tablas 13, 14 y 15.

Estas tablas nos muestran el % retenido en cada malla, el promedio del % retenido y desviación estándar correspondiente. También se muestran las gráficas correspondientes a dichas tablas.

En el caso de las pruebas continuas se obtuvo la granulometría correspondiente a dos pruebas una a 535° C y otra a 585° C, los datos están reportados en la Tabla 16. y plasmados en su gráfica correspondiente.

Se puede hacer un análisis general de cómo se encuentra la distribución de tamaños al observar la gráfica 19 donde se compara los promedios de las pruebas batch, con los resultados de las pruebas continuas. Es claro que la granulometría de la prueba batch a 500° C tiende a tamaños más grandes, con un 68 % en tamaños arriba de 1.75 in; la granulometría reportada para las pruebas batch a 535° C y 585° C es muy similar a la granulometría reportada para las pruebas continuas a 535° C y 585° C, donde la mayor parte de la distribución de tamaño de partícula se encuentra por debajo de 0.25 in, con un rango para todos los casos que va de un 20.7% (batch 535° C), hasta un 25.24% (continuo 585° C) en la malla 0.25 in; en la malla 0.185 in (malla 4) se encuentra un rango que va de 12% (batch 535° C) hasta 13.29% (continuo 535° C); en tamaños de 0.111 in (malla 7) un rango que abarca de un 20.9% (batch 535° C) hasta un 24.78% (continuo 585° C); el retenido en tamaños de 0.0661 in (malla 10) tiene un rango que va de 12.94% (batch

585°C) a 14.9% (continuo 585° C); y por último un rango que va de 15.13% (batch 585° C) a 19.03% (continuo 585° C) para tamaños de partícula menores de 0.0661 in (malla 10). En el caso de las pruebas continuas tenemos un 33% por debajo de la malla 7 y un 19% por debajo de malla 10; estos porcentajes son muy elevados cuando debería ser un 7% por debajo de malla 10 según BOWMAN; se visualiza que la malla 0.25 in y la malla 7 retienen cada una un 25% aproximadamente. En las recomendaciones se tratará nuevamente el punto, la granulometría del producto reciclado, como factor determinante del diseño del equipo.

CONCLUSIONES

El horno rotatorio diseñado y construido, retiró adecuadamente la pintura.

Los parámetros de operación del equipo se establecieron: la temperatura de arranque del horno es 535° C, la velocidad de rotación es de 11.5 R.P.M.; el ángulo de inclinación es de 30°; la capacidad de carga es de 8 Kg por cada 25 minutos; el consumo de gas es 35.14 Kg Al / Kg gas.

Cuando se evaluó el producto reciclado no se presenta fusión parcial y se observa una oxidación muy ligera.

Hablando de la distribución del tamaño de partícula, el producto reciclado es de mediana calidad. Esto se debe a que se ha producido una gran cantidad de finos y de tamaños pequeños de malla.

Las ventajas de la implementación de este proceso son:

- a) se introduce menos “basura” al proceso de fusión, generando así menos escoria y menos inclusiones
- b) el rendimiento y la calidad de la fusión aumentan

Reciclar lata de aluminio, es técnicamente factible.

RECOMENDACIONES

Para poder evaluar adecuadamente el proceso, se debe hacer un estudio integral, es decir, evaluar que sucede con el producto reciclado cuando este llega a la etapa de fusión, posiblemente la calidad del producto reciclado a 585° C no merme la productividad y calidad del producto de fusión, siendo entonces este el caso más rentable económicamente; o por otro lado, puede ser que la productividad sea mermada y lo que convenga económicamente sea procesar el producto reciclado a 535° C.

Siendo la distribución del tamaño de partícula un parámetro importante para el diseño de un horno rotatorio, se recomienda un cambio en el diseño de la tapa de salida, que permita un mayor flujo de partículas al exterior. Siendo estas de mayor tamaño, la distribución de la granulometría del producto reciclado se recorrería hacia tamaños mayores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Web de ASERAL Reciclado del Aluminio;
<http://www.confemetal.es/aseral/principal.htm>; última consulta marzo2006.
2. Bowman, Kenneth A.; “ALCOAs 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
3. Hernández Tinoco Eduardo; “Aspectos ambientales que intervienen en una planta recicladora de aluminio”; Trabajo Monográfico de Actualización para obtener el grado de licenciatura; UNAM; Facultad de Química; 2005.
4. Román Moguel, Guillermo J; “Estrategias y Sistemas de Recuperación de Chatarra de Aluminio”; Memorias del Primer Panel del Procesamiento del Aluminio; Tomo 1 IMEDAL Mayo 1992.
5. Van Linden J.H.L. ; “Aluminum Recycling- Everybody’s Business, Technological Challenges and Opportunities; Light Metals 1990; edited by Christian M. Bickert; The Minerals, Metals and Materials Society, 1990. pp 675-682
6. Lage Knutsson and Gösta Sjöberg; “Aluminum Can Recycling in Sweden”; Light Metals 1992; Finspong Sweden; edited by Euel R. Cutshall; The Minerals, Metals and Materials Society, 1991. pp 1137-1141.
7. Zorrilla Castellanos Luisa Fernanda; “Recuperación de chatarra de Aluminio (latas de bebidas) en horno tipo reverbero”; Tesis para obtener el grado de licenciatura; UNAM; Facultad de Química; 2000.
8. O. H. Perry; “Decoating of Aluminium Products” ;Light Metals 1993; edited by Subodh K. Das; The Minerals, Metals and Materials Society, 1992.

9. T.Rottwinkel and N. Sanhen; “Aluminium Recycling – A European Perspective”; Light Metals 1990; edited by Christian M. Bickert; The Minerals, Metals and Materials Society, 1990.
10. Márquez Martínez Manuel; “Combustión y quemadores”; España; Ed MARCOMBO, S.A., 1989
11. Guías tecnológicas; “Metalurgia del aluminio” Ministerio de Industria y Energía. España. <http://www.miner.gob.es>
12. Ingenieros del Grupo Pechiney; Enciclopedia del Aluminio. Metalurgia Estructural del Aluminio, fusión y colada de placas y tochos, fabricaciones anexas; Vol 2; Ed. URMO, España, 1968
13. Mondolfo, L.F. ; “Aluminum Alloys: Structure and Properties”; Ed. Butterworths, England 1976
14. 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)
15. Sanders, R.E. Jr and McBride, J.K. ; “Recycling and fabrication of used beverage cans (UBCs) into 3004 alloy can sheet”; December 1985
16. Van Linden, J.H.L.; “ Aluminum recycling-from junkyard to board room”, First International Symposium on Recycle and Secondary Recovery of Metals. Fort Lauderdale, December 1985