



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**SEPARACIÓN DE TAPA Y CUERPO DE ENVASES DE
ALUMINIO DE BEBIDAS, EN UN HORNO ROTATORIO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

P R E S E N T A :

ROMERO MARTÍNEZ JAIME.



MEXICO, D.F.

AÑO 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente: Ing. Cándido Atlatenco Tlapanco.

Vocal: Ing. Gerardo Arámburo Pérez.

Secretario: M. en I. Adrián Manuel Amaro Villeda.

1er sup. Dr. José Alejandro García Hinojosa.

2do sup. M. en I. Agustín Ruiz Tamayo.

Sitio donde se desarrolló el tema:

Laboratorio de Fundición, departamento de Ingeniería Metalúrgica,
Facultad de Química, UNAM.

Asesor del tema:

M. en I. Adrián Manuel Amaro Villeda.

Supervisor técnico:

Dr. Alejandro García Hinojosa.

Sustentante:

Jaime Romero Martínez.

Agradecimientos:

En primer lugar a Dios por haberme permitido la existencia, y por ser tan generoso conmigo.

A mis padres, José Manuel Romero Galicia y Orietta Martínez Caraveo, por haberme dado la vida, y apoyarme siempre que los he necesitado, y a mis hermanos José Manuel, Ana María y Patricia por ser una fuente de inspiración y modelos a seguir para mí, y a Francisco Javier Maldonado Téllez, por haber sido una columna vertebral en mi vida personal, a mis tíos y abuelos maternos.

A la U. N. A. M. por darme la maravillosa oportunidad de aprender en sus aulas y fuera de ellas, en donde además de conocimientos técnicos aprendí las más importantes lecciones de vida con las cuales me he desarrollado como ser humano.

Al M. en I. Adrián Amaro, por su invaluable apoyo académico, así como material y humano, al M. en I. Antonio Huerta, al ing. Eusebio Cándido Atlatenco Tlapanco, al profesor Arturo Sánchez Santiago, al M. en I. Agustín Ruiz Tamayo, por ser maestros adentro y fuera de las aulas, y a los demás profesores de la carrera, que con su entusiasmo nos transmiten además de conocimientos técnicos, experiencias que nos hacen mejorar como personas.

Al Sr. Gabriel Nieto Resendiz y Maribel N. R., por su apoyo en todo momento, sin el cual no hubiera podido llegar a concluir mis estudios.

A Guibeanne Naranjo Sanabria, por ser una gran amiga con la cual siempre he contado.

A mi cuate Arturo Ogaz Córdova, el gordo, por ser como mi hermano y haberme ayudado cuando lo necesité.

A todos mis amigos del guarroms, Saul Arellano Escobar, Oswaldo Cano Vargas, Edgar García Quiroz, Ivan Muñoz, Ernesto Juárez, Oscar Emilio, nunca los voy a olvidar, así como a Memo y Sergio (luchador), a Rafael Darío Vilchis Ceja, al Melchor (Jorge Melchor Reyes), a Eduardo Tinoco, Lalo Trejo, Israel y Mary Cruz, Gerardo Reyes Arriaga y su esposa Pilar.

A mis amigos que por espacio o falta de memoria no he mencionado.

“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.

“Recuerda siempre que tu propia resolución de triunfar es más importante que cualquier otra cosa”.

Abraham Lincoln.

Indice.

1.- Objetivos.	1
2.- Introducción.	2
3.- Antecedentes.	4
4.- Fundamentos.	6
4.1 Características del Aluminio.	6
4.2 Producción de Aluminio Primario.	8
4.3 Ventajas del reciclado e importancia para México.	11
4.4 Proceso de reciclado de circuito abierto.	13
4.5 Proceso de reciclado de circuito cerrado.	14
4.6 Fabricación de latas para bebidas industrializadas y composición de las aleaciones del cuerpo y de la tapa.	15
4.7 Características de los recubrimientos usados en latas de aluminio.	18
4.8 Fundamentos de los procesos de deslacado.	18
4.9 Procesos industriales establecidos para el reciclado de latas.	21
4.10 Importancia de hacer un tratamiento de deslacado previo a la fusión.	29
4.11 Estudio térmico de la descomposición de la pintura, influencia de la atmósfera y principales compuestos generados en la combustión.	30

4.12 Estudios de la capa de carbón residual en latas de aluminio de bebidas (UBC) después de someterlas a un proceso de deslacado.	51
5.- Metodología.	57
6.- Resultados.	69
7.- Análisis de resultados.	106
8.- Conclusiones.	125
9.- Sugerencias.	127
10.- Referencias bibliográficas.	129

Capítulo 1. Objetivos.

Objetivo general

- 1) Separación de la tapa (aleación AA5182) del cuerpo (aleación AA3004) en los envases vacíos de bebidas de aluminio de 250 ml, en un horno rotatorio.

Objetivos particulares

- 1) Eliminación de residuos (líquidos) contenidos en los envases de bebidas después de su acopio, en un horno rotatorio.
- 2) Eliminación y aprovechamiento energético, del recubrimiento de los envases de bebidas, en un horno rotatorio
- 3) Instrumentar el horno rotatorio con termopares para realizar un análisis térmico del proceso.
- 4) Determinar las condiciones de operación del horno rotatorio como temperatura de tratamiento y cantidad de latas, para obtener la mayor eficiencia en la separación de la tapa del cuerpo en los envases de bebidas de aluminio.
- 5) Modificación de los quemadores en el horno rotatorio para homogeneizar la temperatura dentro del horno rotatorio.

Capítulo 2: Introducción.

En el capítulo de objetivos se plantearon los principales problemas que se desean resolver para mejorar la eficiencia en el funcionamiento del horno rotatorio, tales como la obtención de las condiciones óptimas de operación e instrumentación.

En el capítulo de antecedentes se menciona a grandes rasgos la producción del aluminio y sus aleaciones, la importancia del aluminio para México y justificación del reciclado en función de los procesos de obtención de aluminio primario y su elevado costo, además de la reducción en el impacto ambiental.

En el capítulo de fundamentos se describe el aluminio y sus propiedades, así como el proceso Hall- Heroult para obtener aluminio primario, se mencionan algunos de los principales productores a nivel mundial, la importancia del reciclado tanto a nivel global como específicamente en México, se muestran las diferencias entre chatarra vieja y nueva, así como de los procesos de reciclado de circuito abierto y cerrado, se detalla la fabricación de envases, la composición de las aleaciones que las componen y de los recubrimientos utilizados. Se explican las bases de los procesos de deslacado con algunos ejemplos, se justifica el deslacado previo a la fusión, y se describen ampliamente los principales estudios de la descomposición térmica de laca y pintura de botes y efecto de la atmósfera en el deslacado.

En el capítulo de metodología se describen las modificaciones realizadas a un horno rotatorio, el proceso de instrumentación, y el diseño de experimentos que se planteó para realizarlos y determinar las condiciones óptimas de operación y la forma en que se determinó la eficiencia del proceso.

En el capítulo de resultados se muestran histogramas o gráficas de barras con el número y porcentaje de latas sin tapa, con tapa, con tapa parcialmente desprendida y destrozadas obtenidas en los experimentos, y gráficas de temperatura vs. tiempo para las condiciones establecidas de temperatura, carga y tiempos de prueba, estableciendo la historia térmica en las condiciones mencionadas en el capítulo de metodología.

En el capítulo de análisis de resultados se discuten las diferencias obtenidas en cada condición establecida y se mencionan las condiciones óptimas de operación en base a lo resultados.

En el capítulo de conclusiones se mencionan las determinaciones obtenidas en base a los objetivos propuestos y los resultados presentados.

En el capítulo de sugerencias se dan propuestas para mejorar el funcionamiento del horno rotatorio.

Capítulo 3. Antecedentes.

A nivel mundial, las aleaciones de Aluminio cada vez cobran mayor importancia, principalmente por su bajo peso respecto a aleaciones como los hierros colados, aceros, aleaciones base cobre (latón, bronce), y que su procesamiento es relativamente sencillo, debido a su punto de fusión y a sus propiedades mecánicas.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta 2 cosas. La principal es que en nuestro país, México los yacimientos de bauxita, el mineral del cual se parte para obtener Aluminio puro, son muy escasos, lo cual encarece el material debido a la necesidad de importar y hace depender a la industria nacional de tales importaciones de aluminio primario. La otra es que tanto en México como a nivel mundial una de las industrias de mayor auge en las últimas décadas es la dedicada al reciclaje, debido al precio y disponibilidad de la materia prima, además de lo económico y rentable de los procesos utilizados. Es importante mencionar que fabricar un objeto de material reciclado o secundario implica utilizar alrededor del 5 al 10% de la energía utilizada para fabricarlo de material primario.

Esto se debe a que para obtener un metal primario se requieren procesos que exigen un altísimo gasto energético tales como barrenar, utilizar explosivos, triturar y moler, y proceder con la reducción para obtener el metal por dos vías: procesos pirometalúrgicos, que implican operaciones de alta temperatura, como por ejemplo el alto horno (industria siderúrgica) para obtener acero, y procesos hidrometalúrgicos, que se llevan a cabo a temperaturas bajas, tales como la lixiviación y finalmente la electrodeposición, Ambos tipos de procesos requieren grandes cantidades de energía, y generan grandes

cantidades de contaminantes tales como gases, polvos, escorias, licores de lixiviación gastados, entre otros problemas.

El reciclar abate tales consumos, debido a que parte de objetos que finalizaron su vida útil. Entre algunos ejemplos podemos mencionar a la industria automotriz (pistones, cabeza de motor), perfiles estructurales, componentes eléctricos (disipadores de calor de motores, y elementos de instalaciones como tubería, chalupas, etc.), envases de bebidas industrializadas, conocidas popularmente como latas, entre otros.

Tales materiales tienen una alta disponibilidad debido a la alta producción enfocada a satisfacer las necesidades del mercado, y que la vida útil de algunos productos se ha visto drásticamente reducida, como el caso de los envases (los cuales son desechados prácticamente una vez utilizados). En cuanto al ahorro energético podemos mencionar que los productos de desecho metálicos sólo es necesario recuperarlos, clasificarlos, redistribuir a instalaciones adecuadas (fundiciones de aluminio), donde se procede prácticamente sólo a su limpieza y su posterior fusión, ajuste de composición y elaboración de piezas terminadas (de colada) o lingotes para un posterior conformado (billets).

Es por tales motivos la creciente necesidad de reciclar, aunado a la limitada disponibilidad de rellenos sanitarios y tiraderos. Además se deben realizar cada vez mayores esfuerzos para que los procesos de reciclado sean eficientes y de bajas emisiones contaminantes para obtener productos de alta calidad, económicamente redituables y con mejor tratamiento de las emisiones, para procurar procesos sustentables con el medio ambiente y que respeten las normas anticontaminantes.

Capítulo 4. Fundamentos.

4.1 Características del Aluminio.

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, tiene un sistema de cristalización cúbico centrado en las caras (f.c.c.), y se caracteriza por una gran ductilidad y elongación, mientras que su resistencia a la tensión y su punto de cedencia son relativamente bajos, lo que reduce su uso en aplicaciones estructurales, sin embargo, las aleaciones de aluminio pueden alcanzar una resistencia de más de 600 MPa., después de un tratamiento térmico. El peso específico del aluminio es de alrededor de un tercio del peso específico del hierro o del cobre, de esta manera, esto se convierte en un bajo peso de componentes que son mejor valorados.

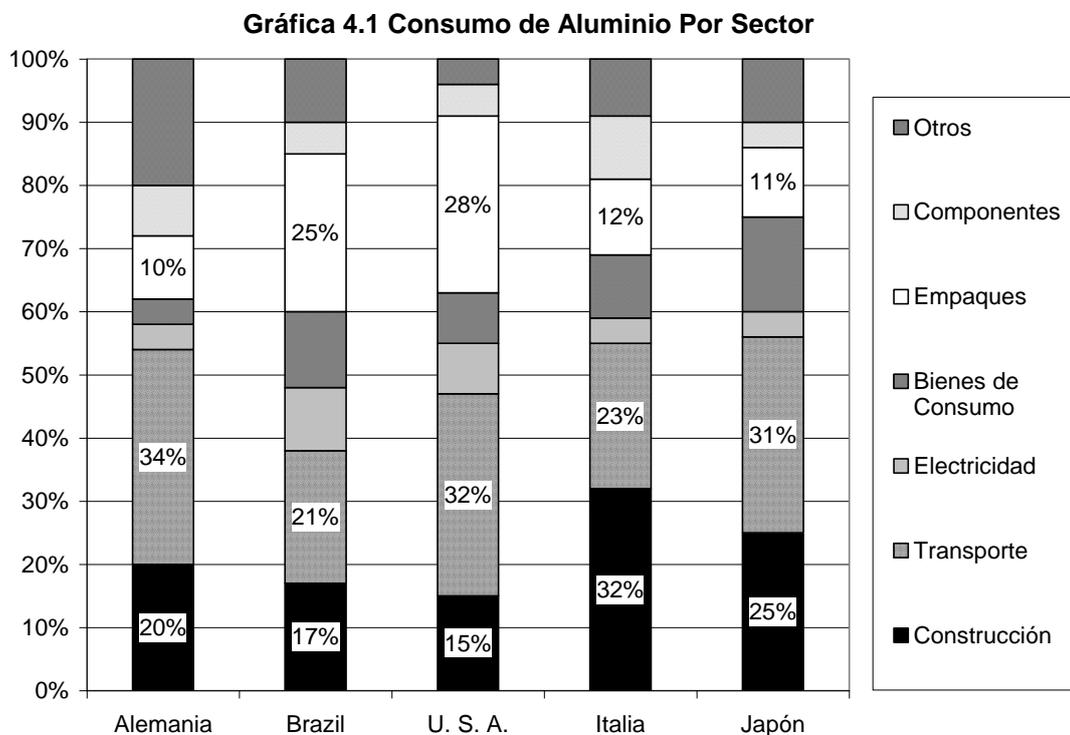
El aluminio es el segundo metal más usado, debido a su baja densidad, resiste a la corrosión, posee alta conductividad eléctrica y muy buena conductividad térmica. En la tabla 4.1 se muestran algunas propiedades físicas del aluminio.

<u>Tabla 4.1 Principales propiedades físicas del aluminio</u>	
Estructura cristalina	F.C.C.
Peso atómico	26.98154
Masa específica a 20°C (g/cm ³)	2.6989
Contracción de solidificación (%)	6.5
Temperatura de fusión (°C)	660.4
Calor específico a 25°C (J/kg °C)	900
Calor latente de fusión (kJ/kg)	397
Conductividad térmica a 25°C (W/m°C)	247
Coefficiente de dilatación térmica lineal (°C x 10 ⁶)	26.4 (200- 400 °C)

La tabla 4.2 presenta las principales propiedades mecánicas del aluminio puro.

<u>Tabla 4.2 Principales propiedades mecánicas del aluminio puro.</u>		
<u>Propiedad</u>	<u>Templado (envejecido)</u>	<u>Muy deformado (90%)</u>
Res. a la tensión (MPa)	40- 50	120- 140
Punto de cedencia (MPa)	15- 20	100- 120
Dureza Brinell (kgf/mm2)	12- 16	27
Elongación	50- 70	8- 12

Dentro de las principales aplicaciones del aluminio podemos resaltar el sector de empaques, debido a que en este caso el aluminio presenta un ciclo de vida más corto y puede ser más rápidamente reciclado, además de que en Estados Unidos es uno de los mayores sectores, como se observa en la gráfica 4.1 [1].



4.2 Producción de Aluminio Primario.

El aluminio primario se produce mediante el proceso Hall- Heroult, el cual data de 1888 [2], el cual se describirá brevemente a continuación:

Se requieren alrededor de cuatro toneladas de bauxita, para producir aproximadamente dos toneladas de alúmina refinada, después de remover impurezas como los óxidos de hierro. Actualmente, la mayor parte de los yacimientos de bauxita están situados en el Caribe, Australia y África. A partir de esas dos toneladas de alúmina, es posible obtener una tonelada de aluminio después de un proceso de reducción electrolítica. Para esto se disuelve la alúmina en un baño de criolita a 980 °C. dentro de celdas revestidas de carbono conocidas como cubas electrolíticas y al pasar una fuerte corriente eléctrica por el baño, el aluminio se separa de la solución química y es extraído mediante un sifón, posteriormente en un horno se adicionan elementos aleantes, principalmente silicio, y se ajusta la composición para obtener productos comerciales [3, 4]. Con este proceso la producción de una tonelada de aluminio a partir de bauxita requiere alrededor de 17 000 kwh. de electricidad [1].

La figura 4.1 presenta el diagrama del proceso Hall- Heroult para la producción de aluminio primario.

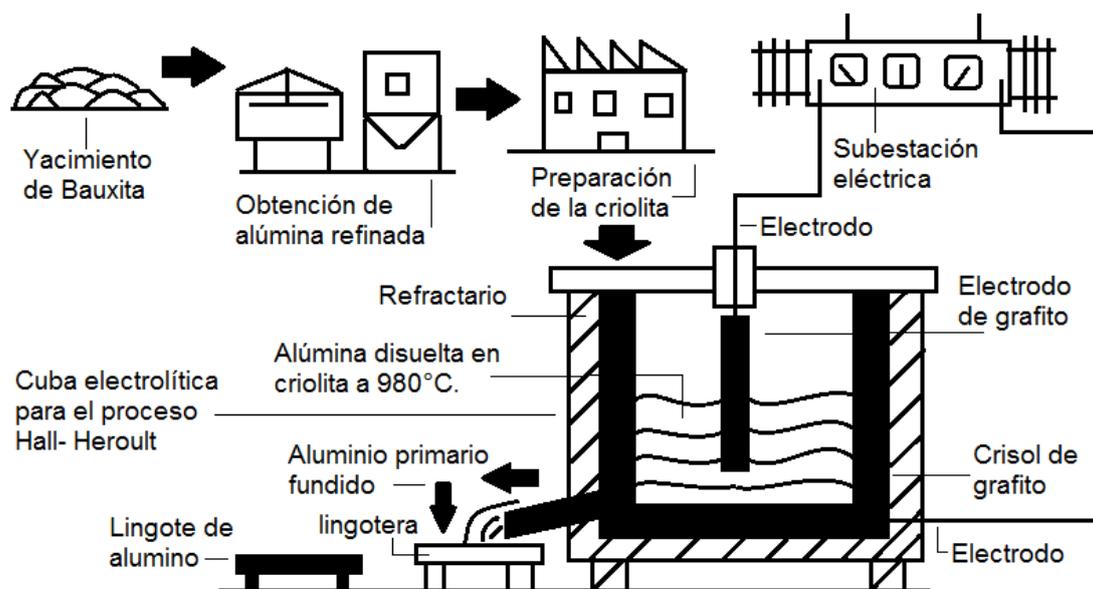


Figura 4.1 Diagrama del proceso Hall- Heroult para la producción de aluminio primario.

La tabla 4.3 presenta algunos ejemplos de los principales depósitos y minas de Bauxita [5].

<u>Tabla 4.3 Ejemplos de depósitos de Bauxita.</u>		
<u>País</u>	<u>Localización</u>	<u>Capacidad Anual (Ton x 1000)</u>
Australia	Territorio del Nte.	6000
Australia	Queensland	4000
Guinea	Conakry	6200
India	Orissa	3000
Brazil	Porto Trombetas	2100
Ghana	Awaso	700

La tabla 4.4 muestra ejemplos de plantas productoras de alúmina refinada para producir Aluminio mediante el proceso Hall- Heroult [5].

<u>Tabla 4.4 Ejemplos de productores de alúmina refinada.</u>		
<u>País</u>	<u>Localización</u>	<u>Capacidad Anual (Ton x 1000)</u>
Australia	Territorio del Nte.	2100
Australia	Queensland	1640
Canadá	V., Québec	1220
Francia	Gardanne	200
Brasil	S. Luis, Maranhao	140

La tabla 4.5 expone algunos productores de aluminio primario y capacidad [5]:

<u>Tabla 4.5 Productores de Aluminio Primario.</u>		
<u>País</u>	<u>Localización</u>	<u>Capacidad Anual (Ton x 1000)</u>
Canadá	Varias plantas	1748 (total)
Francia	Varias plantas	445 (total)
Australia	Nueva Gales del Sur.	265
Reino Unido	Varias plantas	221
Estados Unidos	Sebree, Kentucky	196
Holanda	Vlissingen	181
Islandia	Reykjavik	179
China	Quingtongxia	77
Noruega	Husnes	82
Camerún	Edea	47
Suiza	Steg	44

Según el London Metal Exchange, organismo que regula los precios internacionales de varios metales, el costo del aluminio, consultado en noviembre de 2009, se presenta en la tabla 4.6 [1,9]:

<u>Tabla 4.6 Precios internacionales del aluminio en 2009.</u>	
<u>Régimen de compra</u>	<u>Dólares/ Tonelada</u>
Contado	2,006.00
Compra a 3 meses	2,040.00
Compra a 15 meses	2,148.00
Compra a 27 meses	2,238.00

4.3 Ventajas del reciclado e importancia para México.

Reciclar significa separar materiales de desecho y acondicionarlos para su reutilización, con los objetivos de reducir costos de producción en comparación con el uso de metales primarios, y disminuir la contaminación generada [10].

El reciclado de aluminio empezó menos de 20 años después de la comercialización del proceso Hall- Heroult en 1888, propiciado por el alto valor y propiedades del metal. [2, 19].

Una tonelada de aluminio primario a partir de la bauxita requiere, como se ha mencionado anteriormente 17,000 kwh. de electricidad, mientras que la misma cantidad de aluminio reciclado requiere aproximadamente 750 kwh, esto significa un ahorro de 95% y aminorar el impacto ambiental, debido a que la producción de una tonelada de aluminio primario genera cerca de 2 toneladas de lodos rojos y otros contaminantes[10, 20].

Con estas consideraciones, el aluminio es un excelente producto para reciclar, tomando en cuenta el alto costo de la electricidad, además de que la chatarra

de aluminio posee un mayor valor agregado que muchos otros materiales, especialmente en el sector de empaques. Una vez producido, el aluminio se puede considerar un recurso permanente para reciclar, una y otra vez, de preferencia a productos similares [1,2], y distinguiendo entre chatarra “nueva” y chatarra “vieja”. La chatarra nueva es todos los productos semiterminados y subproductos, tales como alimentadores, sistemas de colada, rebabas y virutas de maquinado, rechazos, etc. y la chatarra vieja es todo producto terminado como piezas automotrices, maquinaria, materiales eléctricos y de construcción, latas de bebidas, entre otros, que han terminado su vida útil, y que han sido recuperados y clasificados para su reciclaje, destacando los empaques, pues debido a que tienen un ciclo de vida muy corto, tienen mayor tendencia al reciclaje y son una de las principales fuentes de chatarra vieja [20].

El reciclado tiene como objetivo lograr productos con mayor valor comercial, y de acuerdo a la capacidad de la planta recicladora se elaboran “cast alloys” es decir, aleaciones de fundición, que consisten en objetos terminados después de solidificar, y en instalaciones más equipadas se obtienen “wrought alloys”, destinadas al conformado mecánico, como laminación, extrusión, embutido, etc. Los envases de bebidas industrializadas, o UBC, de “Used Beverage Can”, pertenecen al grupo de “wrought alloys” y es deseable reciclarlas para fabricar nuevas latas, específicamente las series 3000 y 5000. Sin embargo la serie 5000 (tapa) requiere gran cantidad de Magnesio (Mg) que es un elemento muy reactivo y costoso [26].

México no posee yacimientos de bauxita, por lo cual se importa, tanto alúmina refinada como lingotes de aluminio y piezas terminadas muy costosas. [6].

Los principales países proveedores de aluminio primario para México son Estados Unidos y Canadá [7, 8].

4.4 Proceso de reciclado de circuito abierto.

En este proceso, la chatarra de aluminio se recupera, se almacena, se tritura, se compacta y posteriormente se funde para producir el “lingote secundario”.

Debido a que la chatarra proviene de artículos distintos, de diversas aleaciones con diferente composición química, al no clasificar y separar de acuerdo a la composición y fundir todo junto, el reciclado es de baja eficiencia, porque sólo se producen aleaciones de fundición de bajo valor agregado [15].

El proceso de reciclado de circuito abierto se muestra en la figura 4.2.

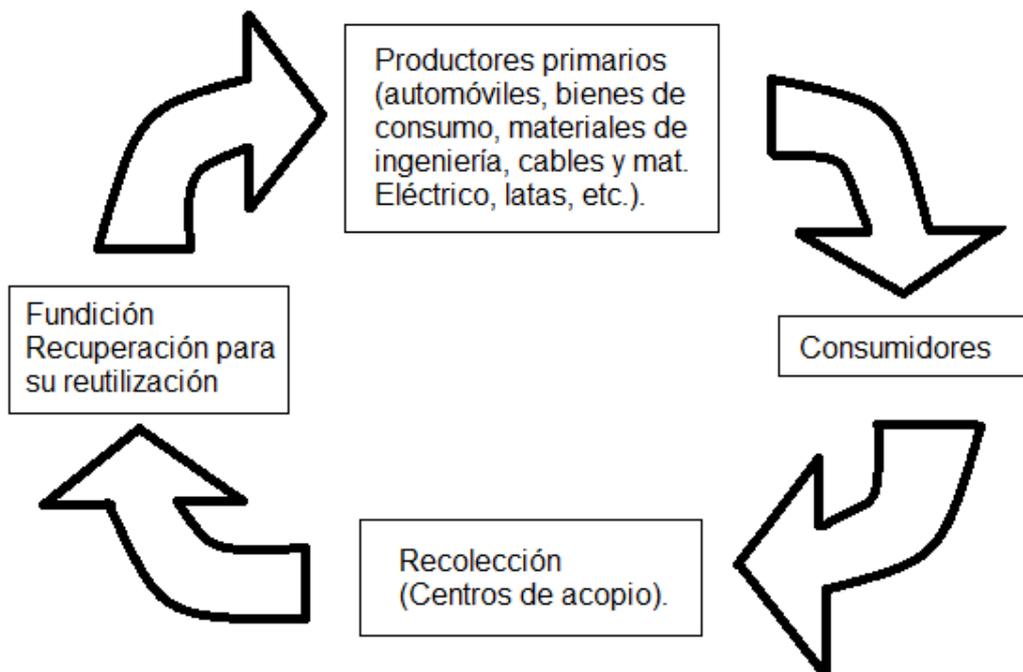


Figura 4.2

Proceso de reciclado de circuito abierto.

4.5 Proceso de reciclado de circuito cerrado.

A diferencia del proceso de circuito abierto, en el proceso de reciclado de circuito cerrado, el ciclo está orientado a recuperar y clasificar las chatarras por tipo de aleación y por su composición, para fundir, procesar y elaborar productos similares de los cuales se partió originalmente, obteniendo objetos de alto valor agregado. De este modo el material se recicla tantas veces como sea posible o el mismo material lo permita.

En este ciclo la duración varía de acuerdo a cada producto, por ejemplo, para los envases de bebidas, el ciclo puede durar de 45 días a 1 año y se recicla para fabricar empaques nuevos. En cambio, el aluminio usado en perfiles para el sector de la construcción tiene un ciclo de aproximadamente 40 años, y se recicla para elaborar nuevos perfiles para construcción [16].

El proceso de reciclado de circuito cerrado se presenta en la figura 4.3.

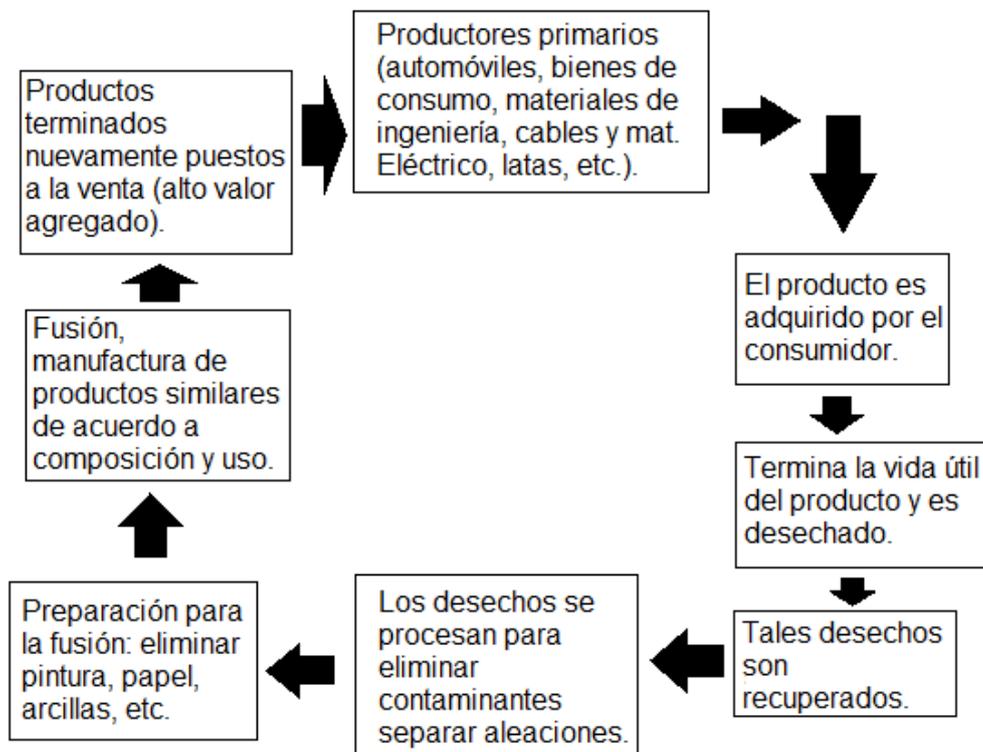


Figura 4.3 Proceso de reciclado de circuito cerrado.

4.6 Fabricación de latas para bebidas industrializadas y composición de las aleaciones del cuerpo y de la tapa.

La figura 4.4 presenta la caracterización y principales elementos aleantes de las aleaciones que componen el cuerpo y tapa de envases de bebidas [14]:

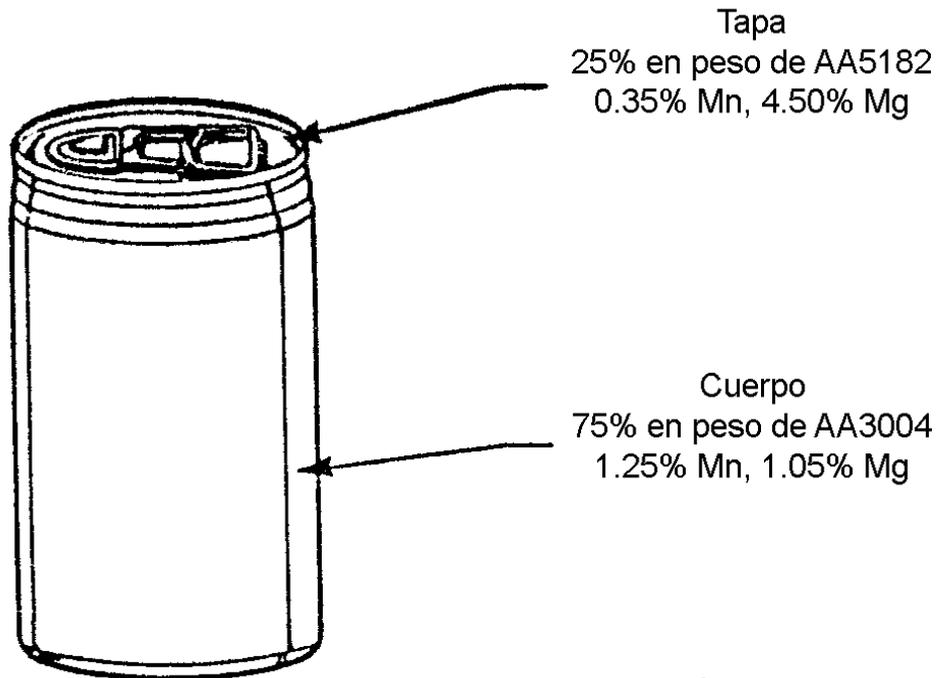


Figura 4.4 Composición de Cuerpo y Tapa.

En la figura 4.5 se presentan ejemplos de recubrimientos aplicados a la lata con fines de su comercialización e identificación de producto y marca, mientras que la figura 4.6 muestra la tapa colocada en el cuerpo, una vez que la lata está lista para salir al mercado.



Figura 4.5 Ejemplos de recubrimientos con propósitos comerciales.



Figura 4.6 Vista superior, que muestra las tapas colocadas en el cuerpo.

La tabla 4.7 presenta las composiciones de las aleaciones de cuerpo y tapa de latas para bebidas [14]:

<u>Tabla 4.7 Composición de Cuerpo y Tapa de latas de aluminio.</u>						
<u>Aleación</u>	<u>%Mg</u>	<u>Prom(%)</u>	<u>%Mn</u>	<u>Prom(%)</u>	<u>%Si-Max</u>	<u>%FeMax</u>
AA5182	4.0- 5.0	4.50	0.2-0.5	0.35	0.20	0.35
AA3004	0.8- 1.3	1.05	1.0- 1.5	1.25	0.30	0.70
*	1.91		1.03		-	-
**	1.30		1.03		0.16-0.5	0.35-0.7

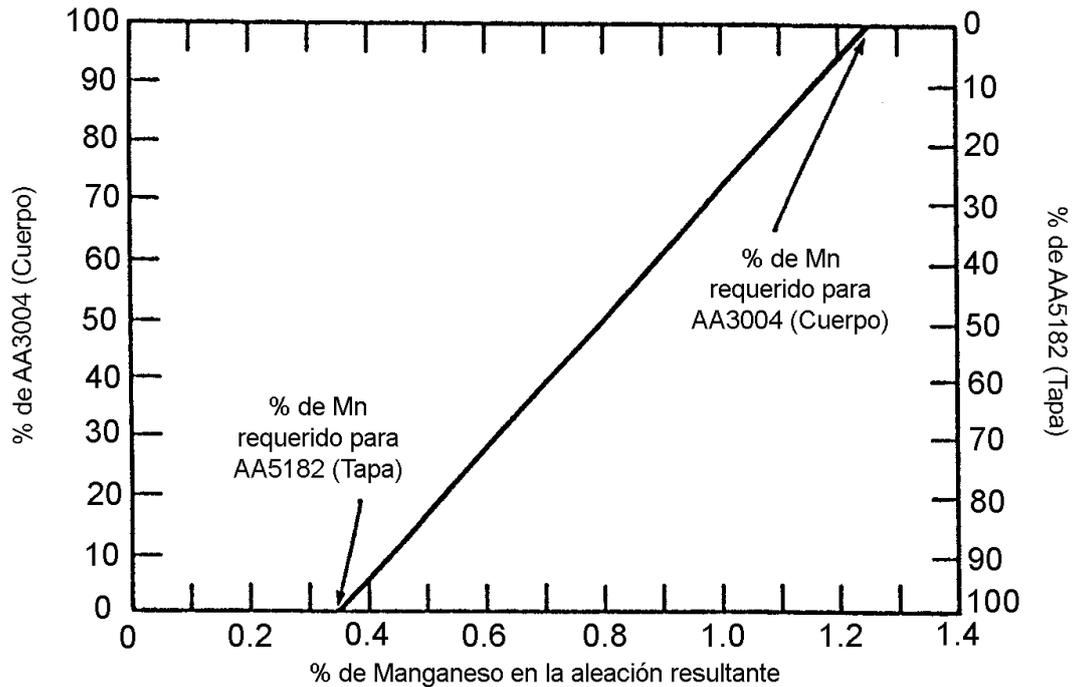
Para la tabla 4.7, los símbolos * y ** tienen el siguiente significado:

* Composición estimada de lata recuperada, cuerpo y tapa, al salir del proceso de deslacado en el horno rotatorio y sin fundir.

** Análisis de una muestra de lata, que muestra la composición resultante si se funde completa, cuerpo y tapa, después del proceso de deslacado en el horno rotatorio.

Al fundir cuerpo y tapa se obtiene una aleación que contiene 1.03% de manganeso, muy alto para la aleación AA5182 (tapa) que requiere 0.2 a 0.5%, y 1.3 de magnesio, lo cual sobrepasa la composición requerida para obtener la aleación AA3004 (cuerpo), pues la cantidad requerida es de 1.05%. Se puede añadir aluminio primario para diluir a niveles aceptables, pero el % de Mg resultante es muy variable.

La gráfica 4.2 muestra la correlación entre el % de Manganeso y el % de AA3004 (cuerpo) y AA5182 (tapa), en la fusión.



Gráfica 4.2

Composición de una mezcla de aleaciones AA3004 y AA5182 como función del contenido de Manganeso

Entre las aplicaciones del aluminio, la lámina destinada a la elaboración de cuerpos y tapas de envases de aluminio (3XXX y 5XXX) para bebidas industrializadas tiene una de las más altas expectativas de calidad. La elaboración de latas requiere una cantidad de defectos muy reducida. Un óxido de 40 micrones como inclusión puede causar agujeros o rupturas. Esto requiere disminuir inclusiones a cantidades de partes por billón, un estándar de calidad muy alto, y es posible hacerlo de material reciclado usando una técnica adecuada [30].

4.7 Características de los recubrimientos usados en latas de aluminio.

Los envases de aluminio contienen recubrimientos para propósitos comerciales y de protección del envase como del producto, generalmente del 2 al 3% del peso del envase. Las pinturas emplean resinas orgánicas complejas, vinílicas, acrílicas y epóxicas, estos compuestos contienen carbón, hidrógeno, cloro, nitrógeno y oxígeno, principalmente. En el proceso de deslacado, uno de los objetivos es remover los compuestos orgánicos volátiles sin causar una oxidación excesiva o fusión del metal [21].

Kvithyld describe un proceso de aplicación de recubrimientos, que consiste en pasar la lámina de aluminio en un baño de ácido sulfúrico caliente para reducir el espesor de la capa de óxido superficial a entre 100 y 400 nm, después se recubre en ambos lados con recubrimientos poliéster en capas cruzadas con espesor de hasta $5 \pm 1 \mu\text{m}$. Esto representa 0.84% del peso total, y los recubrimientos consisten en polímeros de repetición de ésteres, R_1COOR_2 , donde R1 y R2 son grupos orgánicos [32, 33, 34].

4.8 Fundamentos de los procesos de deslacado.

Las principales razones para reciclar latas de aluminio son su vida útil, la cual se estima menor a 1 año, y la gran cantidad disponible. La principal dificultad para reciclar, es que están fabricados con dos aleaciones diferentes, AA5182 (tapa) y AA3004 (cuerpo), al fundir todo resulta una mezcla que requiere adición de aluminio primario y elementos aleantes que elevan el costo. Se pueden separar ambas aleaciones debido a su diferente punto de fusión. Es de gran importancia que la aleación AA5182 (tapa) sea extremadamente sensible a la fractura, debido a fusión parcial en los límites de grano. Al agitar en estas

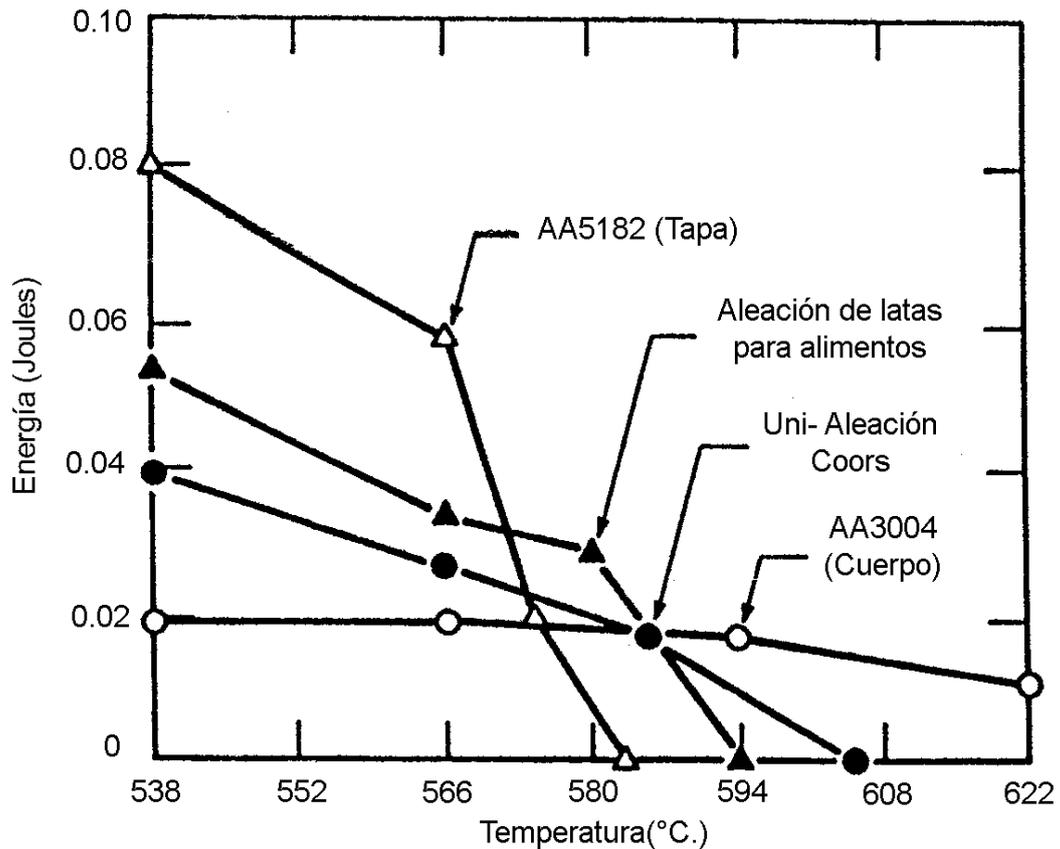
condiciones se fragmenta en hojuelas pequeñas y se separa de la AA3004 del cuerpo. En seguida es necesario cribar para lograr una completa separación antes de la fusión [14].

Las temperaturas de fusión de las aleaciones de cuerpo y tapa de latas de aluminio se muestran en la tabla 4.8:

<u>Aleación</u>	<u>Temperatura de fusión (°C.)</u>
AA5182 (Tapa)	580- 637
AA3004 (Cuerpo)	629- 654

En esta tabla se nota que la temperatura de fusión del cuerpo es superior a la de la tapa, lo que se puede aprovechar para lograr una temperatura de trabajo cercana al punto de fusión de la tapa para favorecer su fraccionamiento.

Para estimar la fragilidad de la aleación AA5182 de la tapa, se efectuaron pruebas de tensión a temperaturas elevadas. La energía requerida para originar fractura fue estimada integrando el área bajo la curva esfuerzo-deformación. La gráfica 4.3 muestra los resultados, mostrando la temperatura en la cual esta energía se aproxima a cero para diferentes aleaciones, comprobando que la temperatura a la cual la energía para originar una fractura se aproxima a cero, se relaciona con la disminución de la temperatura de solidus para estas aleaciones, esto se puede explicar por la mayor cantidad de magnesio presente en la aleación AA5182.



Gráfica 4.3 Temperatura de fragilización de Cuerpo y Tapa.

Dentro de los envases de aluminio podemos encontrar elementos que requieren eliminarse antes de la fusión como son: objetos de acero como, tuercas, tornillos, etc., además de encontrar arena, vidrio que es posible eliminar con un separador magnético y cribando [14].

La recuperación de envases (UBC), se debe a la necesidad de separar materiales susceptibles de reciclar de aquellos destinados a la incineración. La correcta división en vidrio, latas, pilas y baterías, entre otros, reduce el espacio usado de rellenos sanitarios [18, 19].

Entre los países con mayor índice de recuperación y reciclado de envases de aluminio para bebidas se encuentran Estados Unidos de América y Suecia, ambos con procesos diferentes que se mencionan a continuación.

4.9 Procesos industriales establecidos para el reciclado de latas.

Proceso ALCOA:

En este proceso, desarrollado en los laboratorios ALCOA en New Kensington, Pensilvania, las pacas de latas pasan a través de un molino. Posteriormente se efectúa el deslacado térmico en un horno rotatorio. La figura 4.7 muestra esquemáticamente el proceso. Se separan las aleaciones de cuerpo y tapa por granulometría y composición de los fragmentos obtenidos a la salida del horno, con muestras tomadas en el diagrama en el punto 1 y 2 para el molino y el horno rotatorio, respectivamente. Posteriormente los fragmentos deslacados y clasificados se funden y se ajusta la composición.

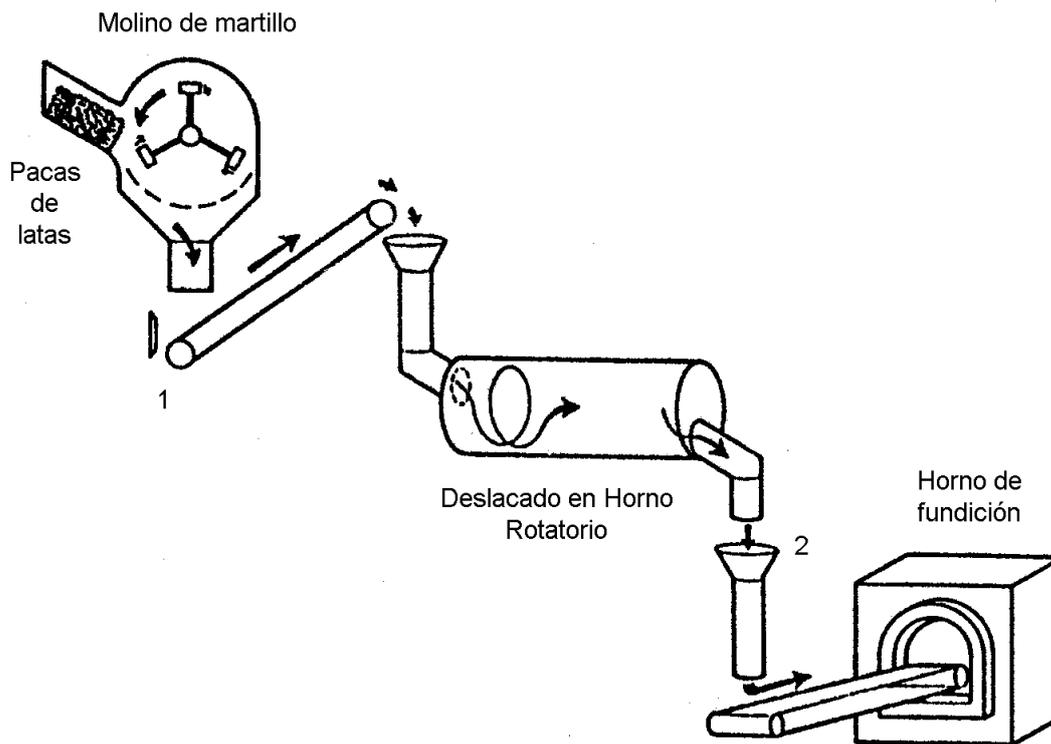


Figura 4.7 Diagrama parcial de un centro de reciclado de envases de bebidas.

La tabla 4.9 muestra las composiciones y porcentajes obtenidos de muestras de lata deslacada en el horno rotatorio en el punto 2 del diagrama:

<u>Tabla 4.9 Composición de lata fragmentada y deslacada en horno rotatorio.</u>						
<u>Aleación</u>	<u>% (peso)</u>	<u>% Si</u>	<u>% Fe</u>	<u>% Cu</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Mg</u>
AA3004	81.2	0.21	0.41	0.13	1.02	1.11
AA5182	16.5	0.12	0.25	0.03	0.34	3.85
Finos	2.4	Vidrio, arena, arcilla, finos metálicos, etc.				

Resumiendo, las principales etapas en el proceso ALCOA se presentan en la figura 4.8.

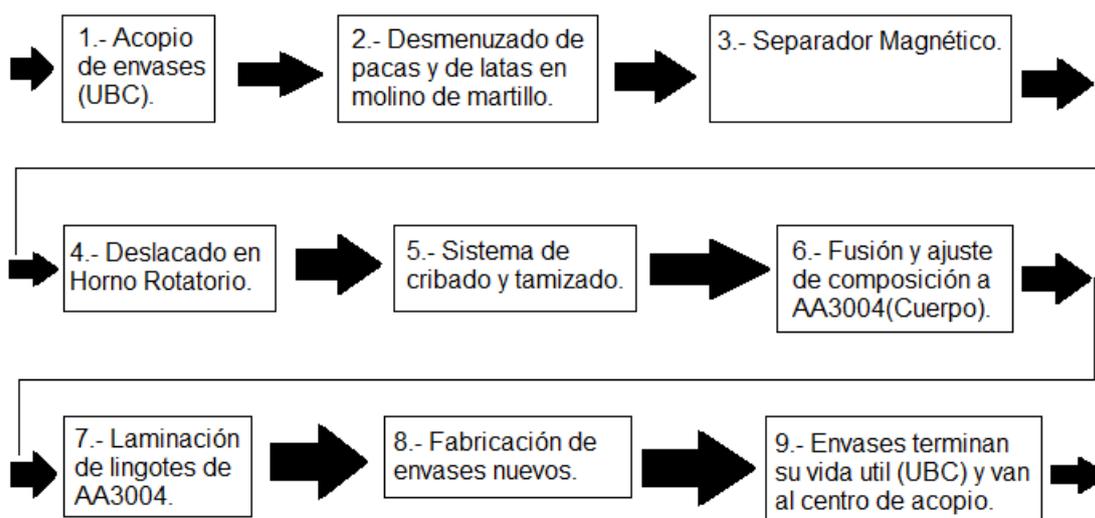


Figura 4.8 Principales etapas en el proceso ALCOA.

En este punto se tiene que hacer énfasis en que una correcta selección de la temperatura de trabajo del horno rotatorio se traduce en una apropiada separación de las aleaciones AA3004 (cuerpo) y AA5182 (tapa), maximizando la eficiencia en el reciclado, debido a que la mayor parte del control del proceso se debe al control en la composición en la aleación resultante en la fusión [14].

Proceso ALCAN:

Se adoptó este proceso a fines de 1994 en Shelbyville, Tennessee, Estados Unidos, y se construyó una planta recicladora con un horno rotatorio y un sistema de tratamiento de gases, con una capacidad de entre 4.5 y 5 millones de libras mensuales (de 2.04 a 2.3 miles de toneladas/ mes), y con una eficiencia de recuperación de 96% usando para la fusión un horno de reverbero con capacidad de 150 000 lb (70 toneladas métricas).

La figura 4.9 presenta el diagrama de dicha planta de reciclado, en el área de deslacado en horno rotatorio y sistema de tratamiento de gases.

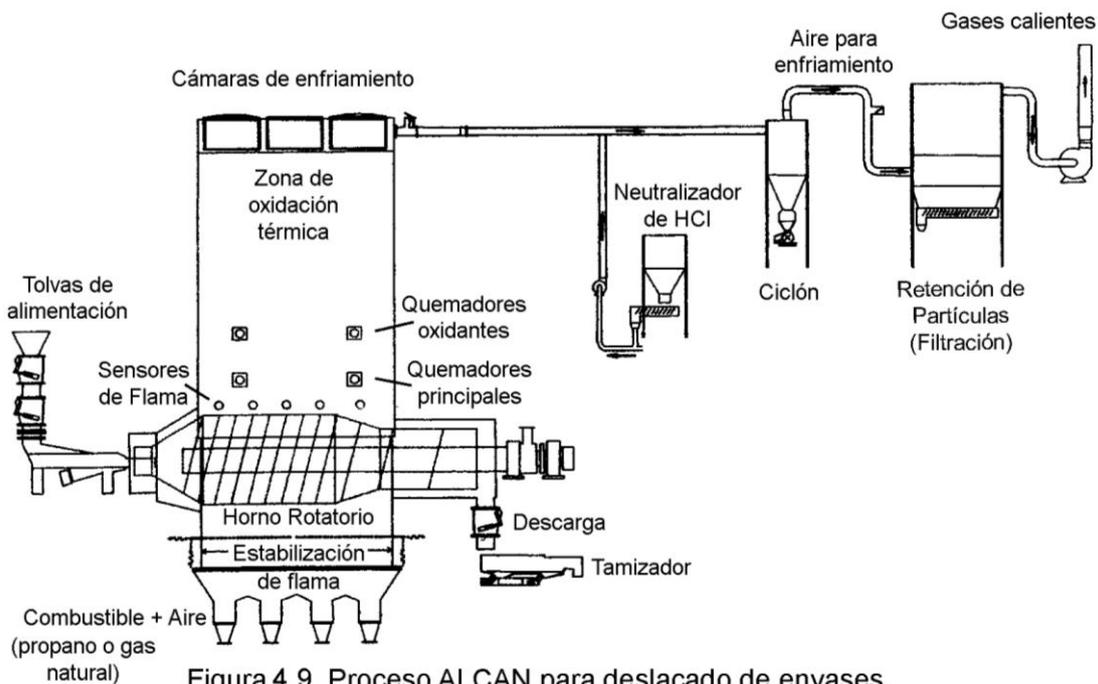


Figura 4.9 Proceso ALCAN para deslacado de envases.

Una característica del horno rotatorio es que está fabricado con placa perforada, y el quemador se localiza en la parte inferior, de tal modo que la atmósfera oxidante generada en la parte inferior penetre y esté en contacto con la carga para retirar adecuadamente los recubrimientos. Estos gases, pasan a la parte superior, donde se mantiene a 850°C. para que los compuestos

orgánicos volátiles y el monóxido de carbono se quemen y sean tratados reduciendo su temperatura añadiendo agua en la cámara de enfriamiento, neutralizando el ácido clorhídrico, filtrando los polvos, añadiendo aire para reducir aún más la temperatura y finalmente su liberación, aproximadamente 36 000 lb/h (16.5 Ton/h). El ventilador ayuda a la salida de los gases así como a generar succión [28].

Proceso Gränges AB (Suecia):

Proceso desarrollado en Finspong, Suecia. El diagrama de flujo de la figura 4.10 muestra claramente un circuito cerrado para este proceso de reciclado.

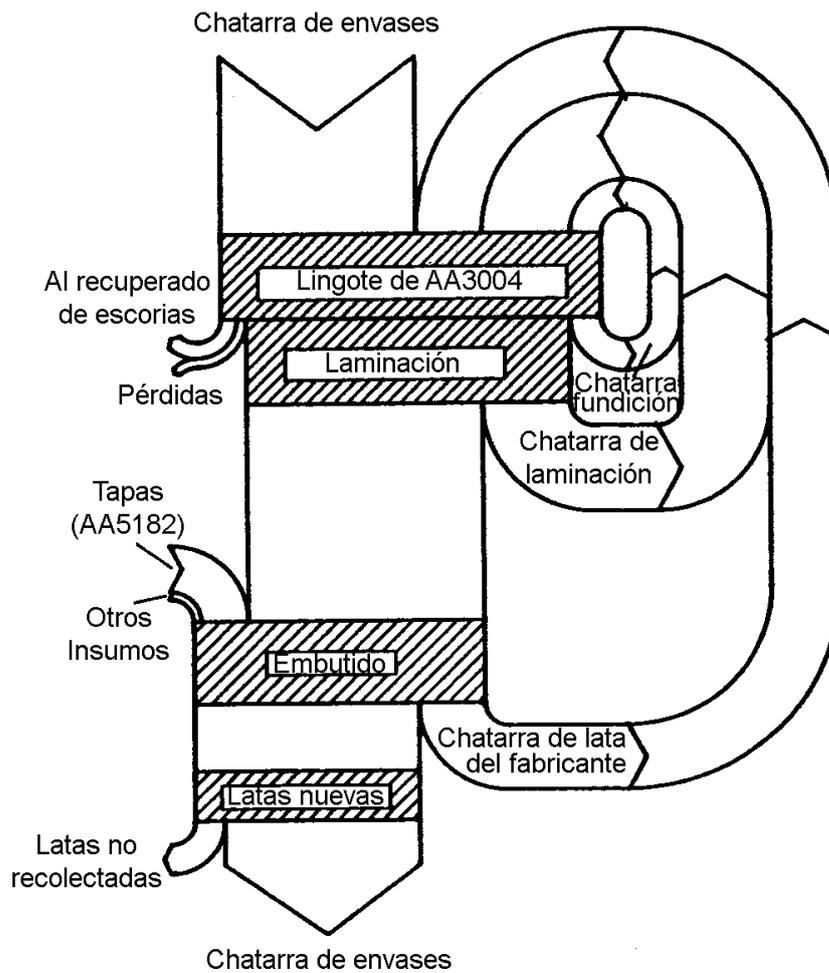


Figura 4.10 Diagrama de Flujo de la aleación AA3004 (Cuerpo) en el sistema de reciclado en Suecia.

A diferencia del proceso ALCOA, los envases recuperados no son desmenuzados ni fragmentados con un molino, y se elabora lámina y cuerpo nuevo de la aleación AA3004 (cuerpo), a partir de la fusión de la lata deslacada (cuerpo y tapa), aprovechando también la chatarra generada en el proceso, sin agregar aluminio primario.

El tratamiento de deslacado previo a la fusión de envases (UBC) se lleva a cabo en un contenedor de acero perforado con 5 m³ de capacidad, en lugar de usar un horno rotatorio, y se procesan lotes o en "batch". Se dispone de una cámara de combustión con quemador para que al calentar la carga de envases (UBC) se gasifique el material orgánico volátil, y de un ventilador para la circulación de gases calientes.

Al inicio, se introduce la carga de chatarra (UBC), y circulan gases provenientes del quemador para calentar el contenedor y la carga, gasificando los compuestos volátiles que posteriormente son captados y enviados a la cámara de combustión, la cual se mantiene a una temperatura mayor a 870 °C., para que los compuestos contaminantes se quemen. Gases calientes del quemador se recirculan al contenedor para mantenerlo a más de 400°C., y así sucesivamente, en un circuito cerrado con recirculación.

Es recomendable que el quemador tenga un tiempo de retención o de permanencia largo debido a que en el contenedor se generan compuestos tóxicos como hidrocarburos poliaromáticos (PAH), clorobenzenos, clorofenoles y dioxinas, y al mantener una temperatura alta (mayor a 850°C), se produce una mayor degradación y se reducen las emisiones contaminantes [17].

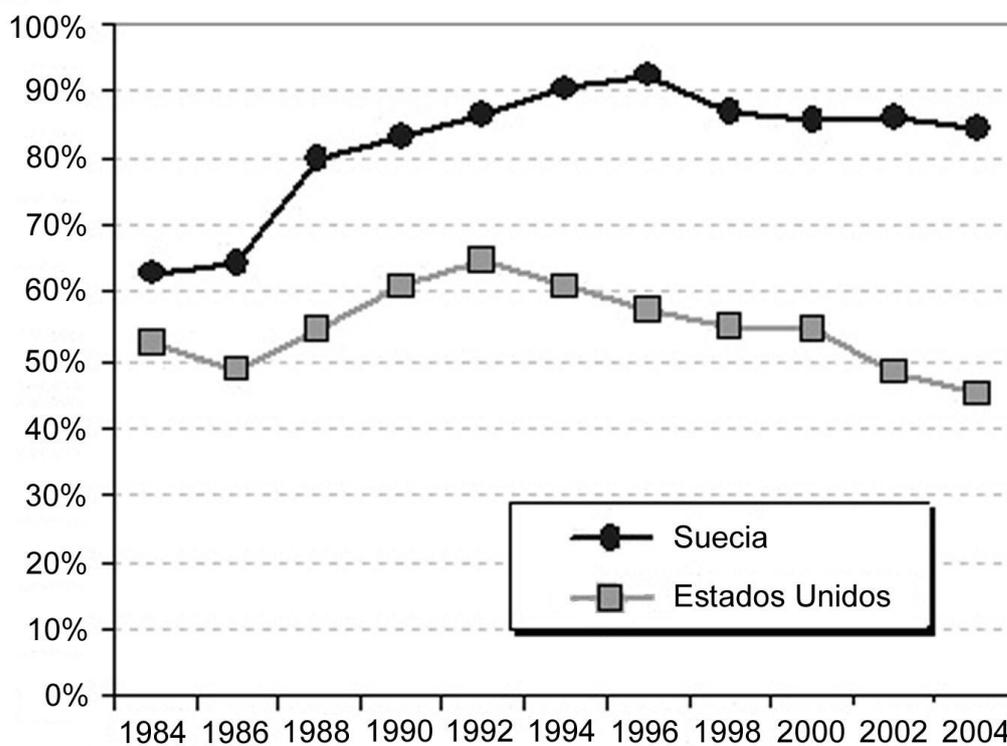
Antes de emitir los gases quemados a la atmósfera, primero son enfriados y tratados con una solución de sosa cáustica o NaOH para neutralizar el ácido

clorhídrico HCl, y en la siguiente etapa son tratados con una mezcla de polvos de piedra caliza y feldespato, para que el polvo en el flujo gaseoso se aglomere y lograr un filtrado efectivo. En la última etapa de tratamiento se neutraliza el ácido clorhídrico residual, y las partículas sólidas se separan de los gases.

Se estima la capacidad entre 4 y 5 toneladas métricas de envases (UBC) deslacados térmicamente por hora, y un consumo de aproximadamente 30 kg. de propano por tonelada tratada.

En el proceso Gränges AB se efectúa el deslacado en un contenedor fijo (sin movimiento), y se funden cuerpo y tapa (UBC) sin separar aleaciones AA3004 y AA5182, a diferencia del proceso ALCOA, sin embargo es necesario mencionarlo por ser Suecia uno de los países con más alto índice de reciclado.

La gráfica 4.4 muestra la comparación del índice de reciclado de envases de bebidas (UBC) en Estados Unidos de América y en Suecia [3]:



Gráfica 4.4 Comparación del reciclado de Aluminio en Suecia y en Estados Unidos.

Para lograr una buena conservación ambiental y desarrollo sustentable, es deseable alcanzar un nivel de reciclado de 100%, pero es necesario manejar la chatarra apropiadamente. Es necesario fomentar la conciencia de las ventajas de reciclar y reutilizar y aumentar la participación pública, enfocado a obtener chatarras separadas y clasificadas, en lugar de chatarra mezclada de muy bajo valor [18].

En base a los procesos mencionados anteriormente, el reciclado de envases puede realizarse en instalaciones de pequeña escala con bajas inversiones económicas, mediante el siguiente proceso. Primero, el deslacado se lleva a cabo en un horno rotatorio, posteriormente con el material de salida del horno rotatorio se compactan pequeñas pacas, y éstas se funden en un horno de crisol. Al comienzo, los gases calientes del horno rotatorio se pueden usar para precalentar las pacas que van a fundirse y el horno de crisol. Cuando se funde la carga de pacas en el crisol y con el quemador del horno de crisol encendido, los gases provenientes del horno rotatorio con compuestos orgánicos volátiles (VOC) entran en contacto con la atmósfera producida por el quemador, con el propósito de degradar tales compuestos. Finalmente los gases de salida del horno de crisol se recuperan y son enviados a una unidad de tratamiento.

Para recuperar los gases del horno rotatorio y enviarlos al horno de crisol se requiere un ventilador y manguera industrial que resista gases calientes.

Una vez que el baño líquido se ajustó a la composición requerida, y alcanzó la temperatura adecuada se procede al vaciado. La utilización del proceso de moldeo de arena en verde asegura un reducido costo.

El esquema del horno rotatorio se presenta en la figura 4.11.

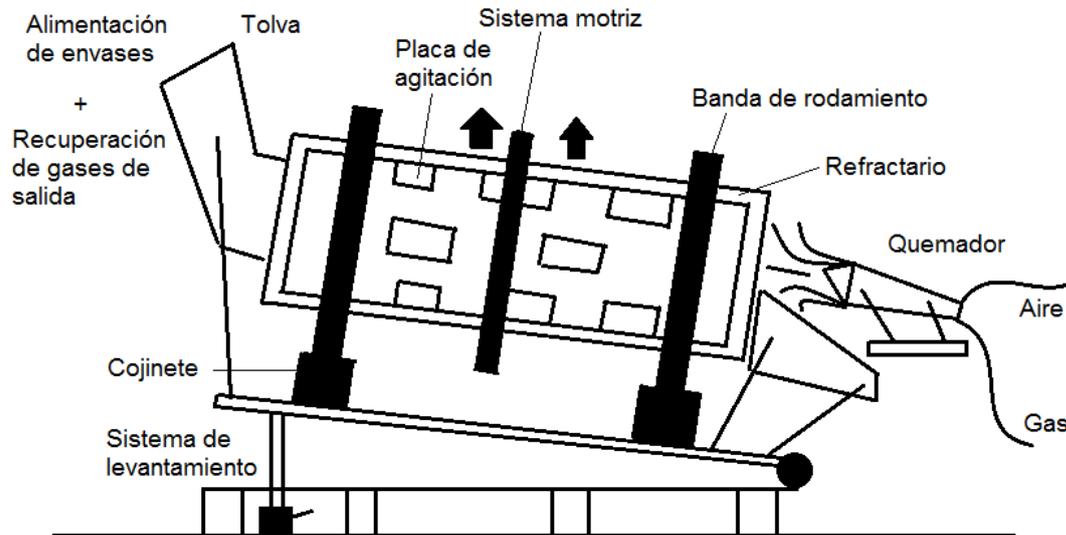


Figura 4.11 Diagrama de un horno rotatorio y sus elementos principales.

El horno de crisol acoplado a un horno rotatorio se muestra en la figura 4.12.

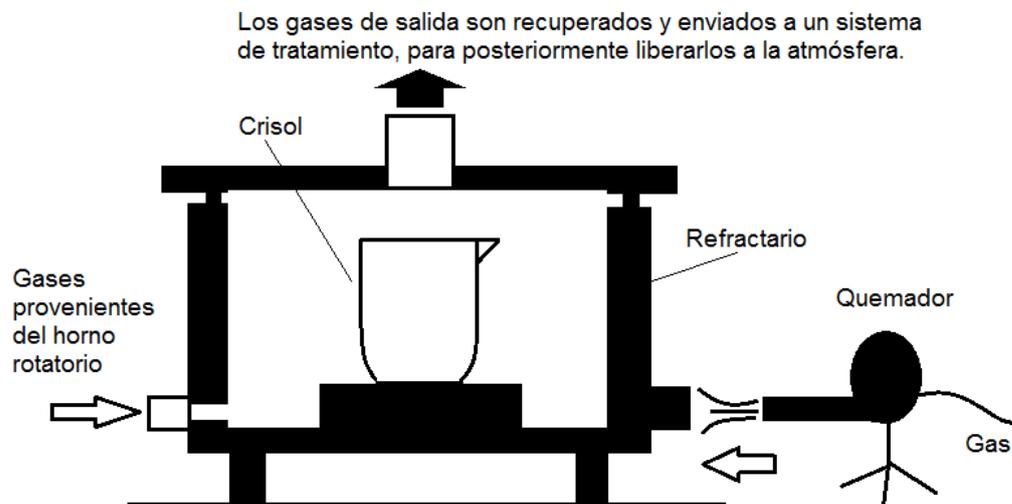


Figura 4.12

Horno de crisol acoplado a un horno rotatorio y a un sistema de tratamiento de gases.

Una instalación de este tipo puede alcanzar una recuperación del 90% del aluminio en esas condiciones [24].

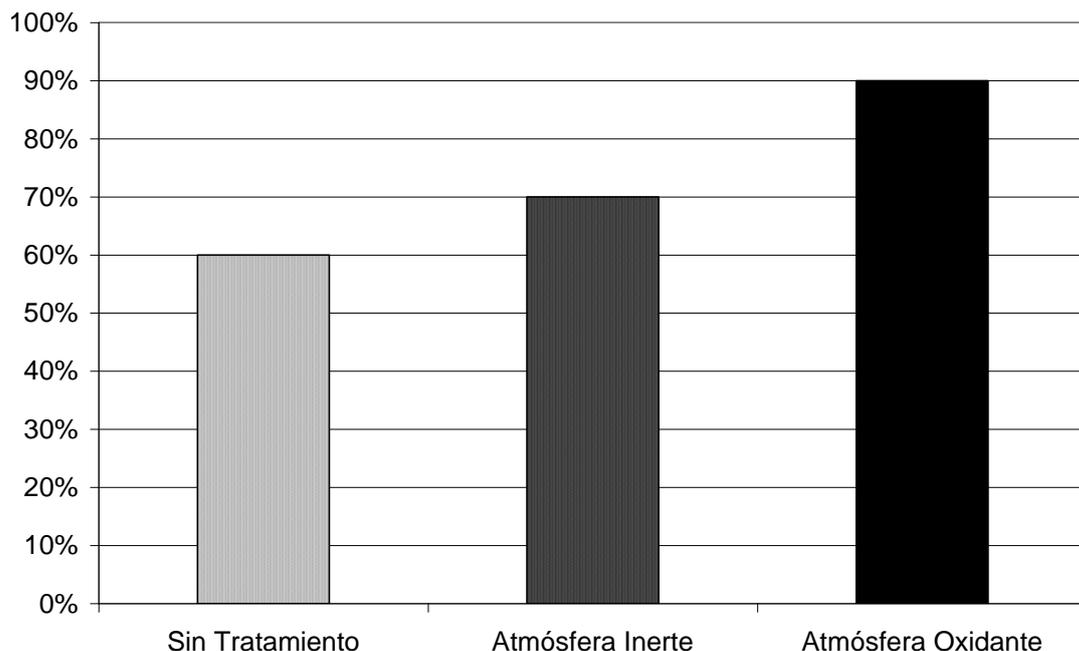
El tratamiento de deslacadado se puede hacer también en hornos de rebervero modificados [29], sin embargo, hacer una descripción detallada es tema de otro trabajo.

4.10 Importancia de hacer un tratamiento de deslacadado previo a la fusión.

Retirar pinturas, lacas, plásticos, papel o aceites que interfieran en el proceso de fusión. Existen tratamientos para deslacar con solventes, tal como el polialquilenqlicol en solución mezclado con ácido dicarboxílico, o solución de dietilenglicol monoalquil éter para reducir los compuestos orgánicos volátiles y compuestos contaminantes [23], sin, embargo el método más práctico y económico es el deslacadado térmico [22].

La gráfica 4.5 muestra diferentes grados de recuperación, de acuerdo al tratamiento previo de deslacadado [27]:

Gráfica 4.5 Recuperación de Al en porcentaje en diferentes atmósferas.



Kvithyld recomienda deslacar antes de la fusión debido a las siguientes razones:

- 1.- Aumentar la recuperación de aluminio en el proceso de fusión.
- 2.- Reducir riesgos debidos a líquidos atrapados en los envases.
- 3.- Mejorar la eficiencia energética, usando la energía de combustión de los recubrimientos.
- 4.- Reducción de emisiones contaminantes, al poder recuperar y tratar los gases producidos en el proceso de deslacadado.
- 5.- Menor cantidad de fundentes se necesitan en el proceso de fusión.
- 6.- Minimizar la cantidad de inclusiones, y maximizar la capacidad de remover impurezas en cada paso.
- 7.- Baja formación de escoria en el proceso de fusión [32, 33, 34].

4.11 Estudio térmico de la descomposición de la pintura, influencia de la atmósfera y principales compuestos generados en la combustión.

Existen dos propuestas principales para lograr un buen deslacadado, que es en parte pirólisis y parte oxidación. La primera está basada en un tiempo de permanencia relativamente largo de la chatarra de envases (UBC) en la unidad de deslacadado a una temperatura baja “segura” (alrededor de 520°C.), la segunda sugiere mantener la temperatura de deslacadado justo por debajo de la temperatura de fusión (alrededor de 615°C., produciendo fusiones parciales en aleaciones de las series 5XXX, de tapa), reduciendo el tiempo de permanencia de la carga al menor posible. En ambos casos se resalta la necesidad de controlar también la atmósfera, así como contar con equipos de control de emisiones. Ambos sistemas tienen problemas de control que resultan en

deslacado no uniforme. Temperaturas demasiado bajas o tiempos de permanencia muy cortos a temperaturas adecuadas dejarán una capa de alquitrán que causará mayor escoria en la fusión. Temperaturas demasiado altas o tiempos de exposición prolongados a temperaturas correctas propician una fuerte oxidación de la chatarra, resultando también en más escoria.

En el caso de un deslacado en contenedor cerrado [17] se pueden encontrar gradientes de temperatura que resultan en un tratamiento incompleto en ciertas partes, mientras que en el deslacado en horno rotatorio el flujo de gas puede ser demasiado alto, produciendo oxidación excesiva y tiempos de residencia irregulares, sin embargo, es preciso lograr una operación con control óptimo para obtener “chatarra de baja escoria”, es decir, deslacada sin mucha oxidación del sustrato y que generará menor escoria en la fusión, teniendo en cuenta que se trata de material de paredes muy delgadas (menos de 1mm).

La tapa de aleación AA5182 se fragmenta, debido a fracturas intergranulares, es decir, en los límites de grano, debido a fusión parcial en el deslacado. En este caso es necesario evitar una sobrefragmentación, y un buen sistema de cribado para separar adecuadamente ambas aleaciones (AA3004 cuerpo). Es de vital importancia el control de temperatura, para evitar fundir las partículas de AA5182 y que se aglomeren con los fragmentos de AA3004 [20].

El tratamiento térmico de deslacado depende de la temperatura y del contenido de oxígeno en la atmósfera. La temperatura límite superior es el punto de fusión de las aleaciones de aluminio usadas, pero debajo de esta temperatura el aluminio se oxida dependiendo de la cantidad de oxígeno. La pintura y laca se pueden describir como compuestos orgánicos volátiles (VOC), y están presentes entre 1 y 5% en peso. Después del proceso de deslacado los

productos gaseosos deben ser tratados o destruidos por combustión. En este punto es necesario mencionar que en el deslacado hay un nivel en que el sistema es autotérmico, es decir, no se requiere calor externo, con un contenido de 4 a 5% de recubrimientos, debido al calor generado en reacciones de combustión, y el oxígeno debe ser regulado para evitar sobreoxidación e incluso fusión del material. Una cantidad excesiva de oxígeno sería arriba del 12%, abajo del 4% sería insuficiente para un deslacado efectivo, por lo que el nivel adecuado estaría entre 6 y 8%.

La cantidad de agua presente en los envases (UBC) es de aproximadamente 5%, lo que reduce la eficiencia y aumenta el consumo de energía, y al vaporizarse diluye el contenido de oxígeno.

La velocidad del horno rotatorio debe de ser inferior a 3 m/s en la cámara, y se debe cuidar de no exceder el coeficiente de transferencia de calor de 25 W/m²K. Los hornos rotatorios poseen en su interior aletas que agitan la carga, y la mezclan con los flujos gaseosos, y la temperatura en la entrada/salida de 300/ 500 °C., respectivamente. Esto varía de acuerdo al diseño del horno y los parámetros de operación.

Los principales contaminantes presentes son:

Partículas suspendidas, que son compuestos orgánicos e inorgánicos, tales como pigmentos, y finos de aluminio, aprox. 25mg/m³.

Monóxido de carbono, se genera en procesos de combustión, o en combustión incompleta, su concentración máxima puede llegar a 4000 ppm, o 0.4%.

Hidrocarburos, compuestos volátiles, conc. Máx. de 500ppm o 0.05%.

Cloruro de hidrógeno, generado por compuestos clorados, y puede neutralizarse con sosa, NaOH, o cal, agregada al flujo gaseoso o en un reactor de torre, conc. De 10mg/m^3 en el gas de salida.

Fluoruro de hidrógeno, conc. de 2mg/m^3 .

Dióxido de Azufre, óxidos de nitrógeno, menos de 100ppm.

De este modo una instalación adecuada de deslacado requiere tres áreas de operación:

- Deslacado
- Recirculación de gases de salida.
- Sistema de control de contaminación del aire.

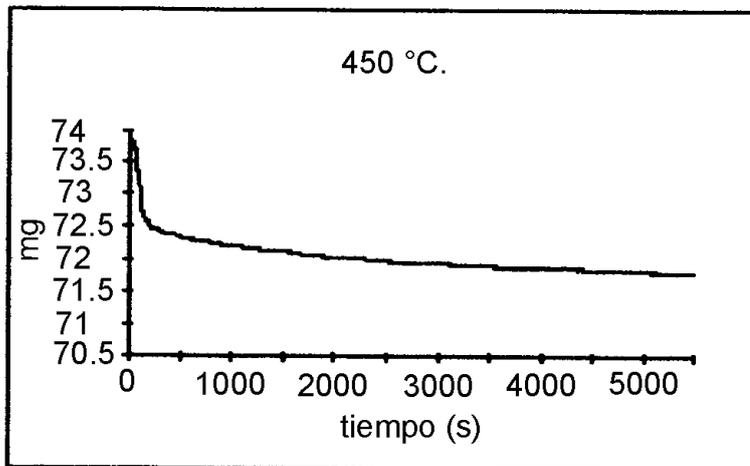
La recirculación de gases transporta los gases de salida a un postquemador, donde compuestos orgánicos son destruidos con una eficiencia de 99% a 850°C , y una porción de estos gases se pueden reutilizar en el deslacado. La unidad de control de emisiones se encarga de reducir la temperatura de los gases provenientes del postquemador, de neutralizar los ácidos, filtrar y retener partículas [22].

Las técnicas más importantes para conocer a profundidad el proceso de deslacado son la termogravimetría y el análisis térmico diferencial.

Soares Tenorio reporta pruebas de termogravimetría que efectuó para cuerpo (AA3004) y tapa (AA5182) con muestras de 5cm^2 [25].

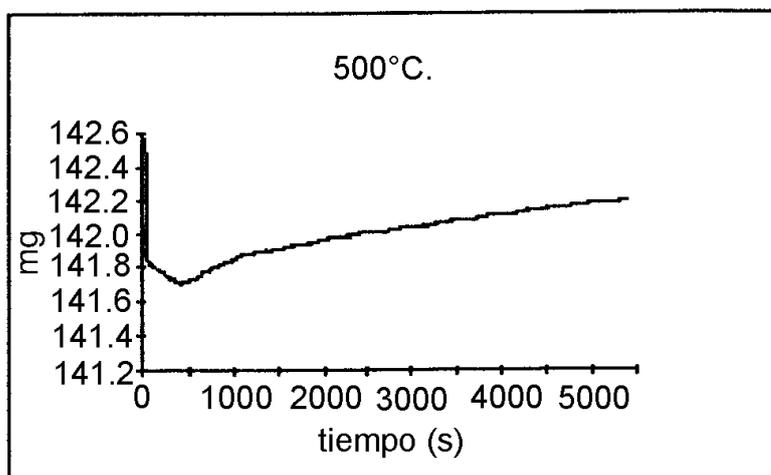
Las gráficas 4.6, 4.7 y 4.8 manifiestan resultados obtenidos, tanto de termogravimetría como el tiempo de deslacado de cuerpo y tapa.

La gráfica 4.6 presenta una curva de análisis termogravimétrico de cuerpo (AA3004) a 450°C.



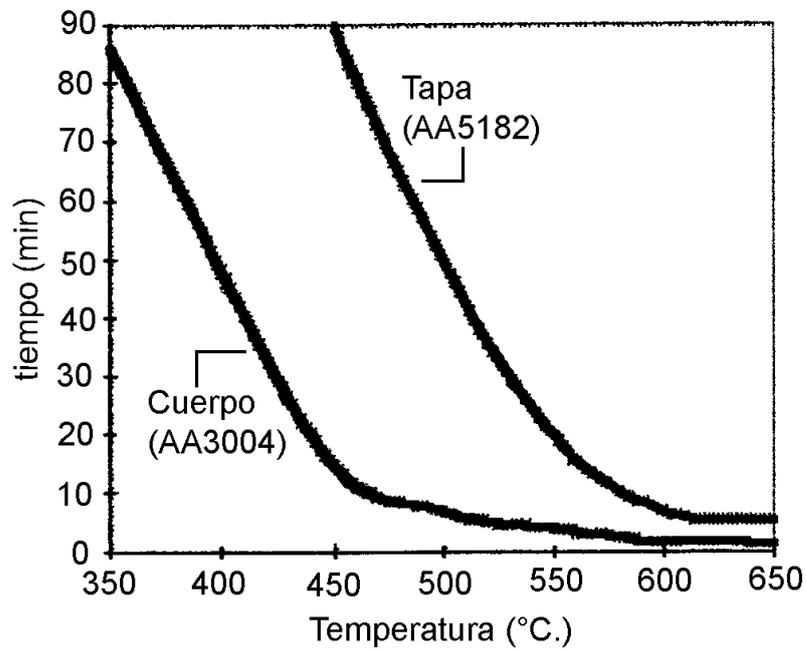
Gráfica 4.6 Análisis termogravimétrico de AA3004 (Cuerpo) a 450°C.

La gráfica 4.7 muestra una curva de análisis termogravimétrico de tapa (AA5182) a 500°C.



Gráfica 4.7 Análisis termogravimétrico de AA5182 (Tapa) a 500°C.

La gráfica 4.8 presenta al tiempo de deslacado como función de la temperatura, para cuerpo (AA3004) y tapa (AA5182).



Gráfica 4.8 Tiempo de deslacado como función de la Temperatura.

Thomas propone las etapas del deslacado como se representan en la figura 4.13 [28]:

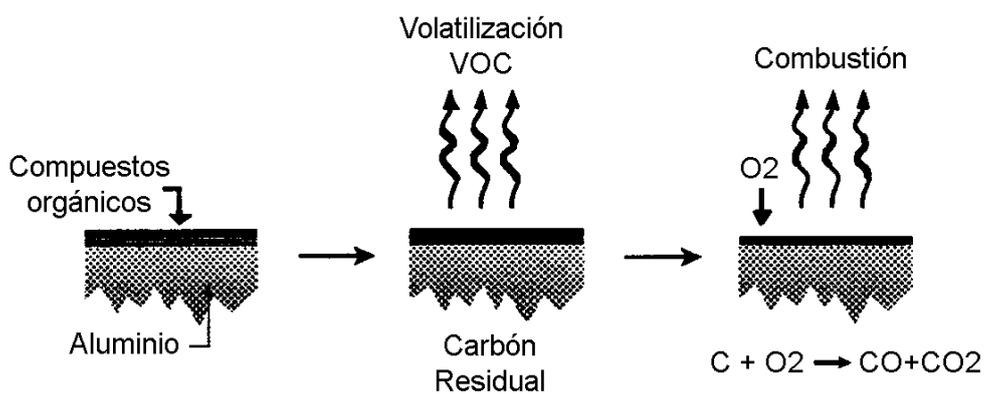


Figura 4.13 Etapas del proceso de deslacado.

Thomas divide el tiempo estimado de cada etapa del deslacado, volatilización y combustión, como se muestra en la figura 4.14 [28]:

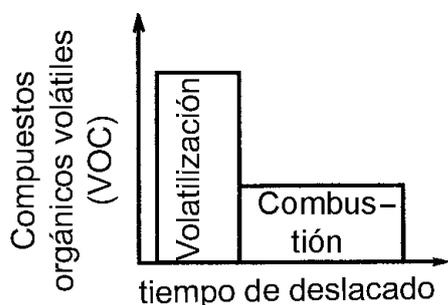


Figura 4.14 Tiempo estimado de cada etapa.

Los estudios más recientes, fueron realizados por Anne Kvithyld, el Al., quienes experimentaron diferentes atmósferas, tales como aire, nitrógeno, argón y argón con 1% de oxígeno, y con diferente rapidez de calentamiento, con muestras calentadas hasta 620°C, usando un aparato Seiko modelo 6300, algunas de sus principales características se mencionan en la tabla 4.10:

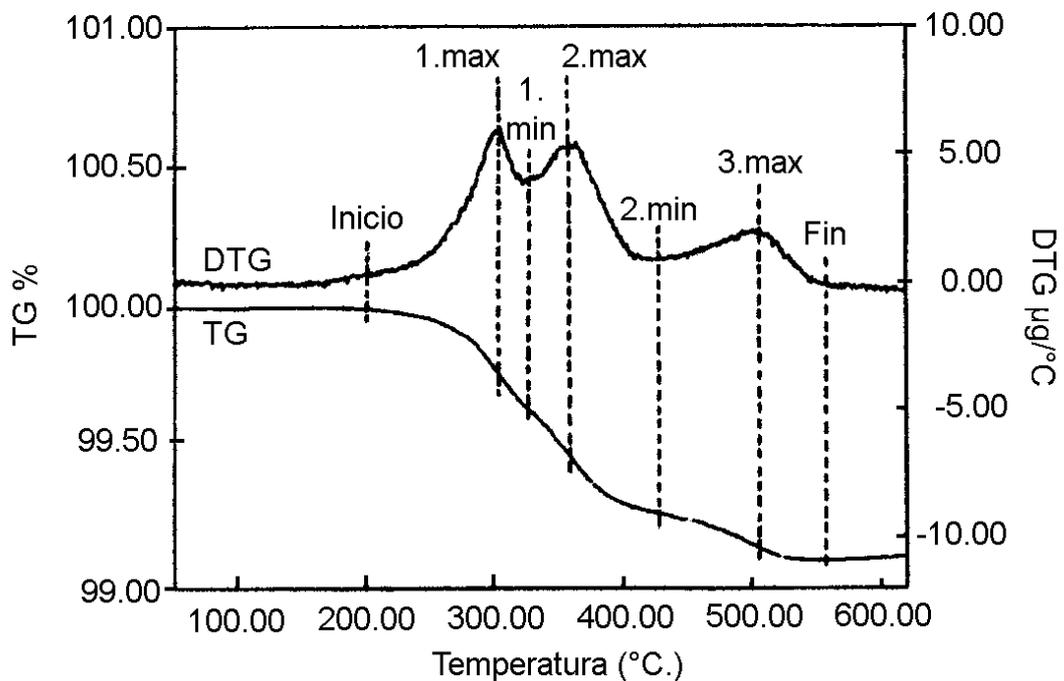
<u>Tabla 4.10 Características de un aparato Seiko 6300.</u>	
Rango de calentamiento:	Temperatura ambiente hasta 1500°C.
Balanza:	Balanza diferencial horizontal.
Rapidez de calentamiento:	0.01 ~ 100°C/min.
Rango de medición TG:	± 0.1mg ~ ± 200mg.
Flujo:	máximo 1000 mL/min.

Termogravimetría (TGA) es una técnica en la cual la masa de una sustancia se mide como función de la temperatura o el tiempo, mientras la muestra es sometida a un calentamiento programado en una atmósfera específica.

Análisis térmico diferencial (DTA) es una técnica en la que la diferencia de temperatura entre la sustancia y un material de referencia se mide como función de la temperatura o el tiempo, mientras la muestra se somete a un calentamiento programado.

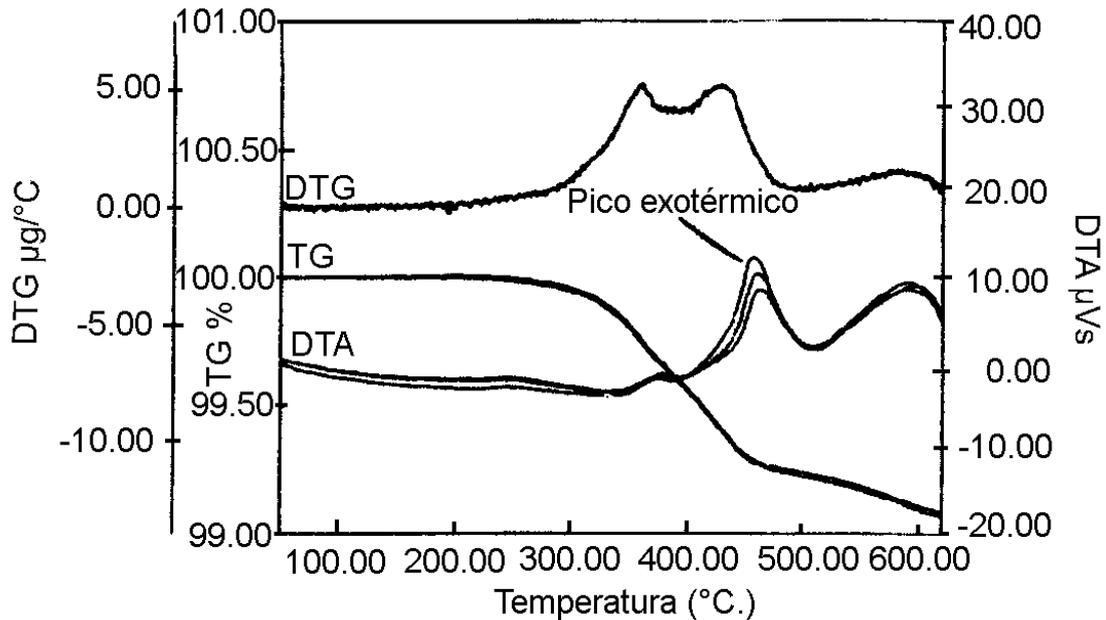
Simultáneamente, las dos técnicas, TG/DTA, pueden ser aplicadas a la misma muestra. También se puede obtener la gráfica de la rapidez de cambio de masa como función del tiempo o la temperatura, esto se denomina **termogravimetría diferencial (DTG)**.

Una curva TG/DTG obtenida en Argón, se presenta en la gráfica 4.9.



Gráfica 4.9 Curvas TG y DTG de la degradación de recubrimientos poliéster en Argón.

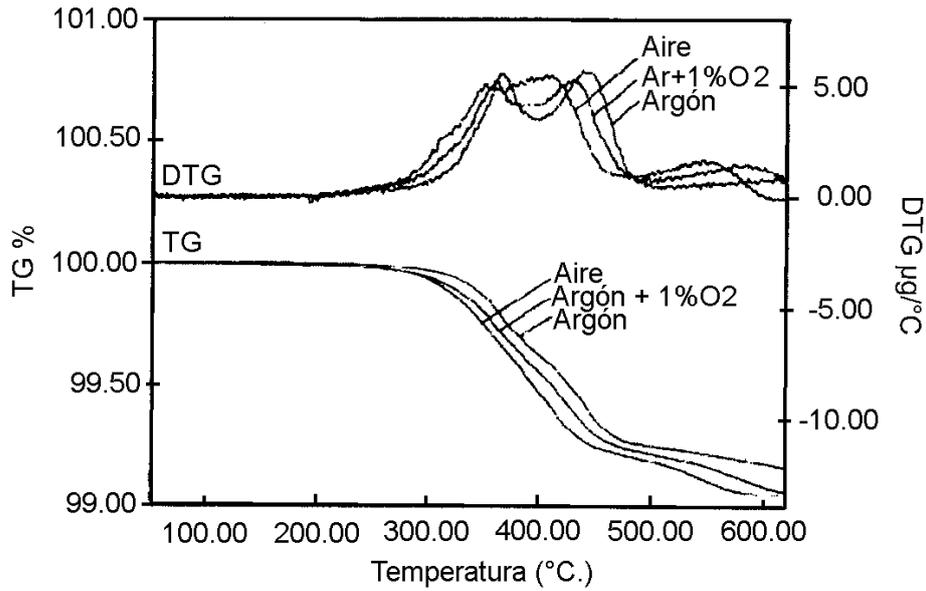
Se puede observar que la reacción empieza alrededor de los 200°C, e incluye tres etapas principales, la primera entre 200 °C. y el primer mínimo, la segunda entre el primer mínimo y el segundo, y la tercera a partir del segundo mínimo. Los picos son causados por calor generado en reacciones exotérmicas, y la gráfica 4.10 muestra experimentos en Argón con 1% de Oxígeno:



Gráfica 4.10 Curvas TG, DTG y DTA para corridas en Argón + 1% O₂. El pico exotérmico en DTA corresponde al pico 2 en DTG.

Las curvas obtenidas en oxígeno y aire muestran los mismos resultados y las mismas etapas, por lo que no son presentadas, pero la pérdida de peso es mayor en atmósferas oxidantes, tales como oxígeno y aire, que en atmósferas inertes. El color de la muestra después de los experimentos es negro en argón y nitrógeno, y gris en argón con 1% de oxígeno, aire y oxígeno.

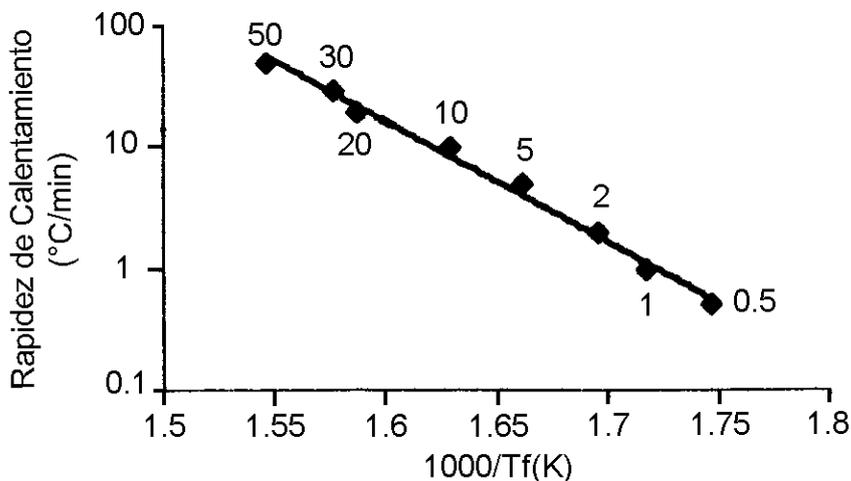
La gráfica 4.11 muestra curvas TG y DTG para aire, argón con 1% de oxígeno y argón.



Gráfica 4.11 Curvas TG y DTG para aire, argón + 1% O2 y argón.

La curva TG para argón y 1% de oxígeno presenta un comportamiento intermedio entre argón y aire. La primera y segunda etapas son rápidas, y la tercera es un proceso más lento. Las primeras dos etapas son muy parecidas, y la separación de los máximos es mayor en argón y en argón con 1% de oxígeno que en aire. El tercer máximo es muy pequeño en argón.

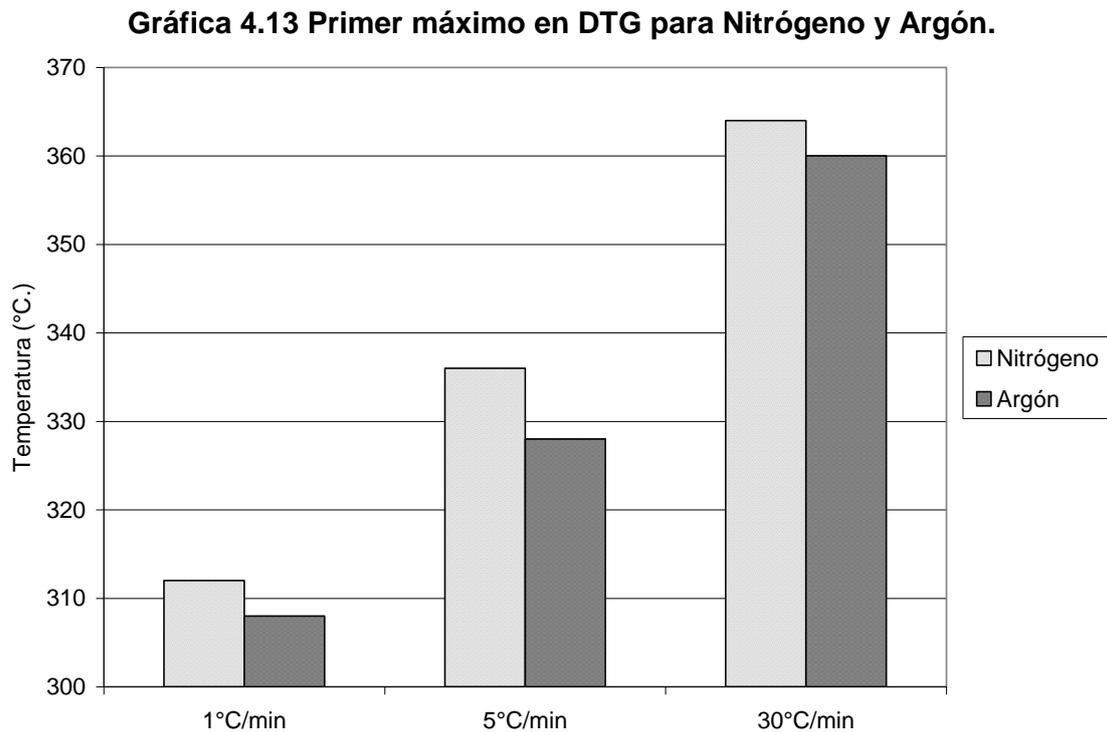
En la gráfica 4.12 se puede ver la relación entre el logaritmo de la rapidez de calentamiento y el inverso de la temperatura del primer máximo T_f .



Gráfica 4.12 Logaritmo de la rapidez de calentamiento vs el inverso de la temperatura absoluta (K) del primer pico T_f .

Se muestra que cuando se usa una mayor rapidez de calentamiento, los máximos se forman a temperaturas más elevadas, la reacción no se completa hasta 620°C. en argón a 5 y 30 °C/min, mientras que la reacción se completa en argón con 1% de oxígeno y aire a 620°C. en cualquier caso.

La gráfica 4.13 muestra la comparación del primer máximo en la curva DTG para argón y nitrógeno con diferente rapidez de calentamiento.



Se puede notar que no hay grandes diferencias entre argón y nitrógeno.

La tabla 4.11 muestra la temperatura de los 3 máximos en diferentes atmósferas.

<u>Tabla 4.11 Temperatura de los 3 máximos en diferentes atmósferas.</u>				
Atmósfera	Calentamiento	1er. Máx.	2do. Máx.	3er. Máx.
Argón	1°C/min	312°C	371	560
	5°C/min	336°C	400	595
	30°C/min	364°C	441	590
Argón+1%O ₂	1°C/min	304	360	502
	5°C/min	329	392	550
	30°C/min	360	428	585
Aire	1°C/min	289	317	448
	5°C/min	316	350	493
	30°C/min	351	405	549

La primera etapa se puede interpretar como la ruptura de la cadena de polímero, la segunda, volatilización de compuestos orgánicos volátiles (V. O. C.), dejando carbón en la superficie metálica.

No ocurre tercera etapa en atmósferas inertes, la pérdida de peso es menor, y las muestras quedan con color negro. La tercera etapa se produce cuando el carbón se remueve de la superficie en presencia de oxígeno.

Las reacciones son más rápidas con mayor contenido de oxígeno, y a mayor temperatura la degradación es más rápida. No hay diferencia apreciable entre oxígeno y aire, por lo que el aire tiene suficiente oxígeno para la combustión, y como el nitrógeno y el argón tienen un comportamiento similar, son atmósferas inertes. Por un lado, es deseable tener un contenido de oxígeno alto para obtener una cinética y una combustión rápidas, pero por otro, un alto contenido de oxígeno puede resultar fuera de control e incluso fundir el aluminio. El

oxígeno debería ser balanceado con la cantidad de recubrimientos en la chatarra, y usando una atmósfera inerte, la chatarra quedará con una capa de carbón que debe ser removida mecánicamente, y con una atmósfera oxidante se deben remover residuos de pigmentos de la pintura como TiO_2 y Fe_2O_3 .

Eliminar recubrimientos térmicamente de la chatarra de aluminio en una unidad de deslacado antes del proceso de fusión hace posible utilizar la energía liberada por el proceso de combustión de una manera controlada, aunado a mejorar el control en la fusión, reducción de generación de escoria y aumento de la limpieza del metal líquido.

Anne Kvithyld et Al., analizaron los gases generados en el proceso de combustión usando un espectrómetro de masas Gaslab 300, acoplado al equipo TG/DTA.

La espectrometría de masas es una técnica analítica en la que sustancias químicas se ionizan, y se identifican de acuerdo a su relación masa/carga. Una complicación se debe a la fragmentación de especies gaseosas, especialmente compuestos orgánicos, y también la separación de especies con masas moleculares iguales, por ejemplo N_2 y CO , y no es posible medir directamente CO para describir la combustión. Al no ser posible distinguir entre compuestos con masas moleculares iguales se convierte en un problema, especialmente con compuestos orgánicos, y el análisis de los componentes menos complejos se puede realizar con cromatografía de gases (CG), en el que la muestra volátil es transportada por un gas portador a través del sistema de separación. Sin embargo, debido al tiempo requerido para el análisis así como el análisis continuo de flujos gaseosos son imprácticos al usar un cromatógrafo de gases.

Los recubrimientos consisten en polímeros poliéster, así como poliuretano, metoximetil melamina y epóxicos juntos, con catalizadores ácidos, pigmentos, ceras, esto contiene H, C, O y N.

La tabla 4.12 presenta los principales componentes de los recubrimientos de envases de bebidas.

<u>Tabla 4.12 Principales componentes de los recubrimientos de envases.</u>	
Compuesto	%
Poliéster	56
Hexametildiisocianato	17
Metoximetil melamina	16
Epiclorohidrin- bis- fenol- A	5
Catalizador ácido	1
Pigmentos, cera, etc.	5

La figura 4.15 muestra el acoplamiento entre el equipo TG/DTA y el espectrómetro de masas (MS):

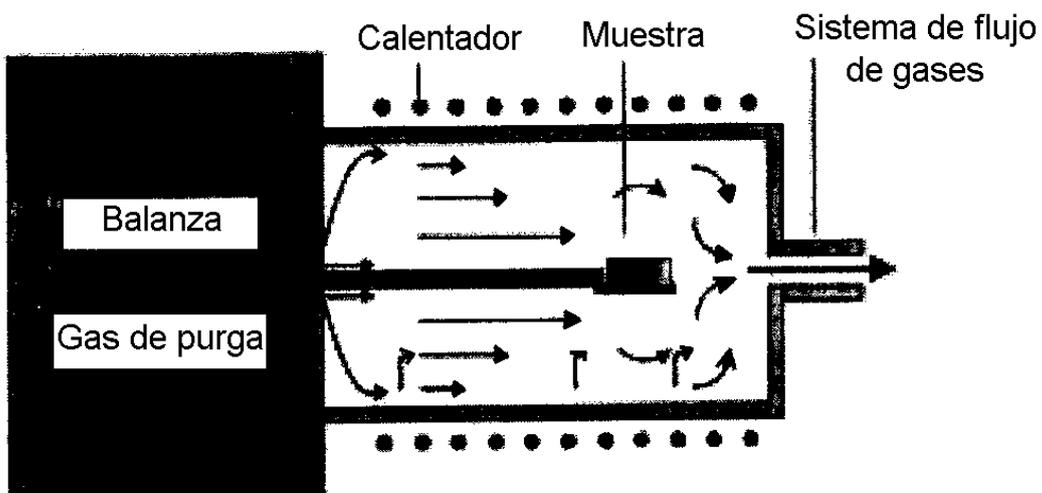


Figura 4.15 Diagrama de una termobalanza y el flujo de gases.

El sistema de transferencia de gases consiste en el horno de tubo, tubo de transferencia y tubo del espectrómetro, el cual se debe calentar entre 200 y 220°C, para evitar condensación y puntos fríos. El flujo de gas es de 50mL/min. Se restringe la difusión inversa de los gases colocando una restricción con diámetro de 0.5mm. El horno donde se efectúa el deslacado tiene un diámetro de 20 mm, y una longitud de 200 mm, el tubo de acero inoxidable de transferencia de gases es de diámetro externo de 1.6 mm y 1.5 m de largo. El volumen del horno es de 63 mL y el sistema de transferencia es de 1.2 mL.

Se debe purgar el horno antes del experimento para asegurar un análisis consistente, y analizar los gases después del experimento para corroborar los valores registrados por el espectrómetro de masas.

Con dos computadoras se registran los datos TG/DTA y MS separadamente, pero sincronizadas para que el registro empiece al mismo tiempo.

Es importante la calibración para CO y CO₂, que permite obtener el patrón de fragmentación del espectrómetro de masas y que se muestra en la tabla 4.13.

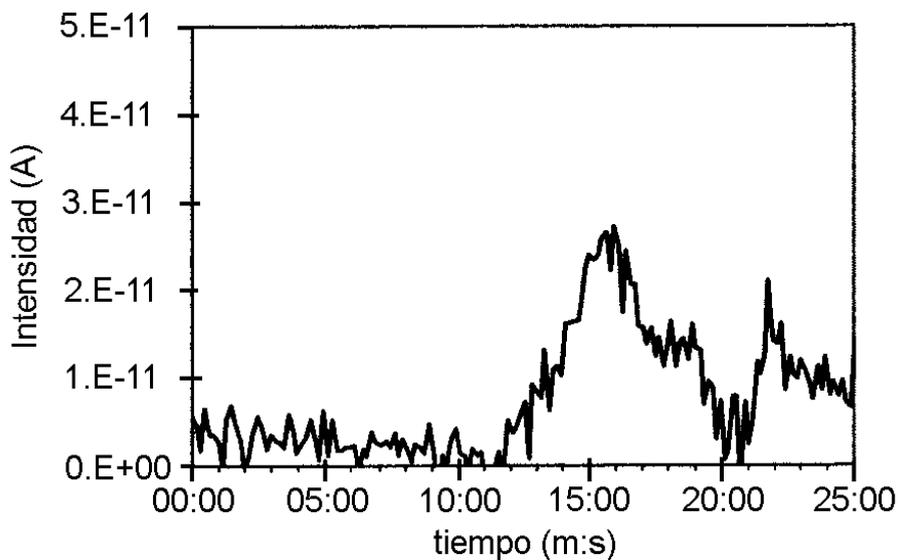
<u>Tabla 4.13 Calibración del espectrómetro de masas para CO y CO₂.</u>		
Masa	100% CO ₂	100% CO
12	0.042	0.063
28	0.085	1
44	1	
45	0.012	
46	0.004	

Los experimentos se realizaron usando atmósferas de argón y aire sintético (80% N₂ y 20% O₂). Finalmente, un problema de medir bajas concentraciones de los gases diluidos con el gas de purga se resuelve al aumentar la rapidez de calentamiento y colocando 5 muestras en la copa y usando un multiplicador de electrones secundarios para intensificar la señal.

Los gases generados se analizaron de 12 a 100 unidades de masa atómica (a. m. u.), para determinar qué picos son de interés y suficientemente grandes para el análisis.

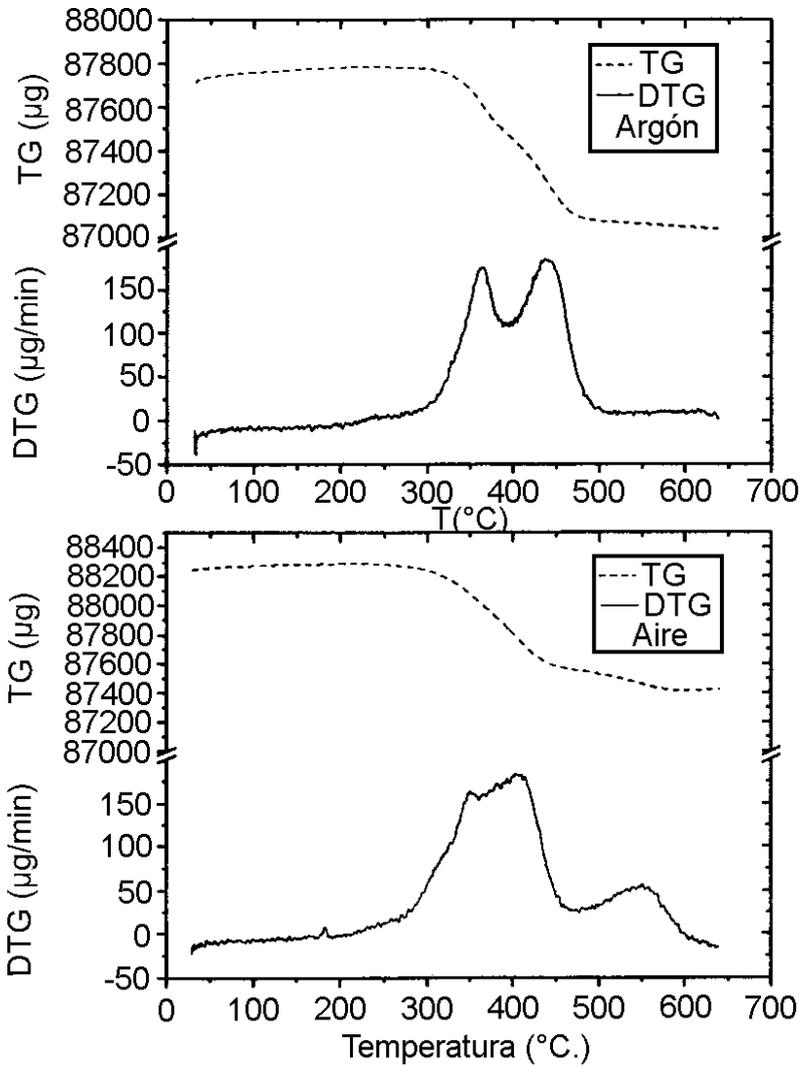
La pérdida de peso en aire es de aproximadamente 0.93%, mientras que en argón fue de sólo 0.76%. Antes del experimento, el recubrimiento era transparente, después, en aire era café claro y negro en argón.

El CO calculado se obtiene midiendo el pico en 12, y quitando la contribución del CO₂, como se calcula del patrón de fragmentación. La gráfica 4.14 muestra la contribución calculada del CO:



Gráfica 4.14 CO calculado en Argón.

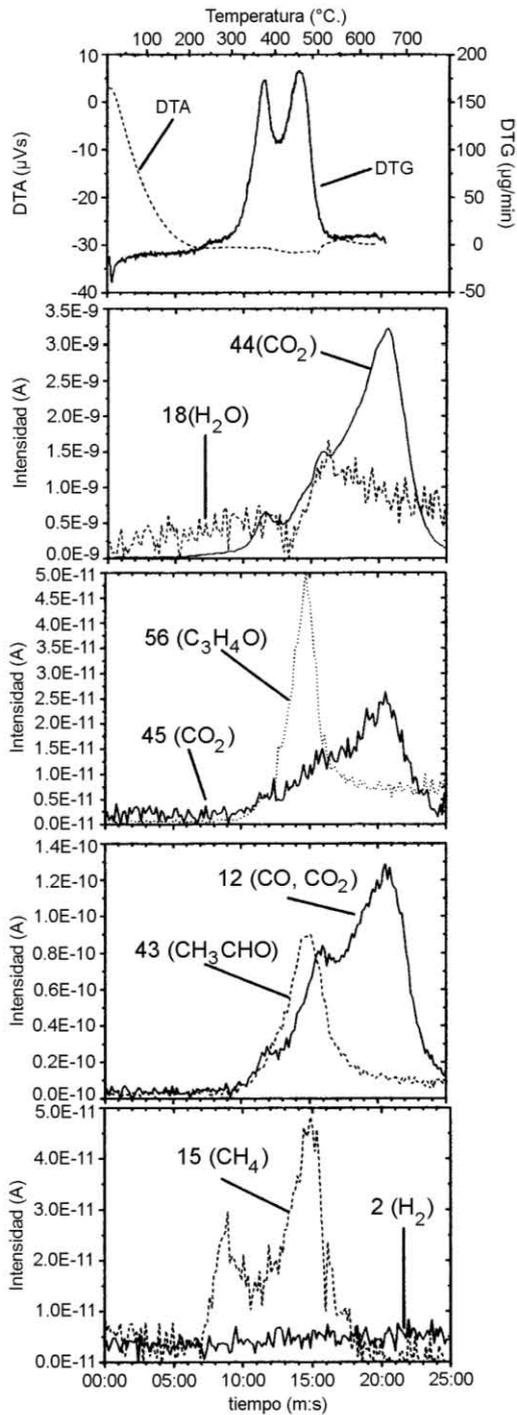
La gráfica 4.15 muestra TG/DTG para aire y argón:



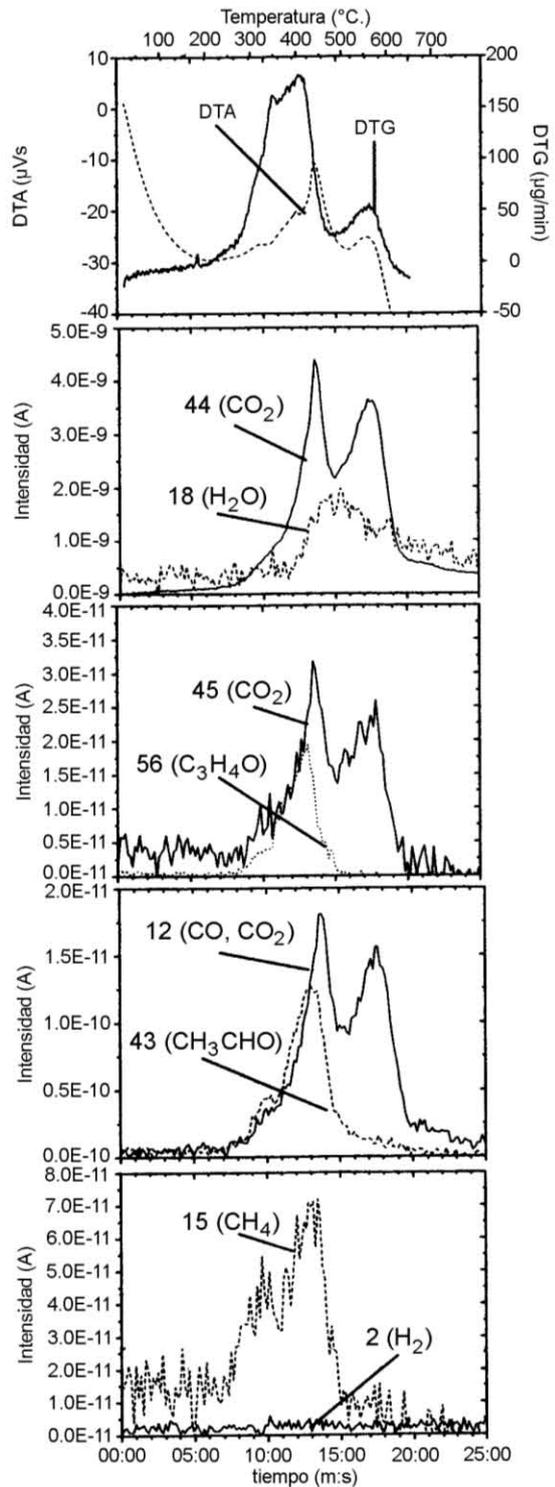
Gráfica 4.15 Curvas TG y DTG para Argón y Aire, respectivamente.

La gráfica 4.16 presenta la correlación entre el cambio de masa DTG, cambio de entalpía DTA y análisis de gases para una atmósfera de argón.

La gráfica 4.17 muestra la correlación entre el cambio de masa DTG, cambio de entalpía DTA y análisis de gases para una atmósfera de aire sintético.



Gráfica 4.16 Curvas DTG, DTA y análisis del espectrómetro de masas en argón.



Gráfica 4.17 Curvas DTG, DTA y análisis del espectrómetro de masas en aire.

La correlación entre los resultados de TG/DTA y MS es obvia. Las transiciones de pérdida de peso son causadas por los procesos de descomposición, que resultan en múltiples especies gaseosas que se desarrollan a diferentes temperaturas. El análisis del espectrómetro de masas se complica cuando hay presencia de especies con picos comunes. El análisis de gases depende del flujo de gases y difusión dentro del sistema, aunque se ha reducido por un diseño experimental cuidadoso.

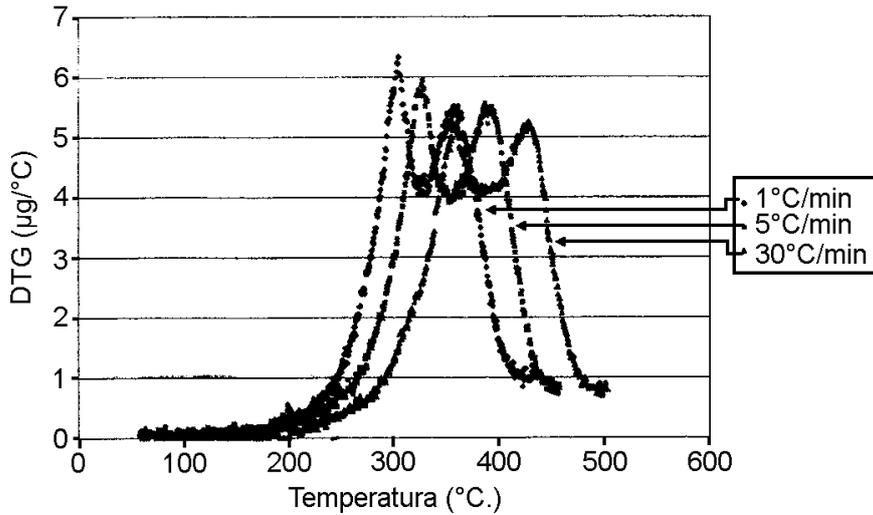
La primera etapa consiste en descomposición del recubrimiento, cuyas cadenas se rompen y pequeñas moléculas se evaporan.

La segunda etapa se caracteriza por una mayor gasificación de componentes mayores. Con oxígeno presente, los hidrocarburos liberados de la superficie se combustionan. En una atmósfera inerte, los hidrocarburos se descomponen y dejan el horno. Al final, carbón queda en la superficie de aluminio.

La tercera etapa no se presenta en atmósferas inertes, pero con oxígeno presente, el carbón se combustiona para producir CO y CO₂.

Muchas reacciones paralelas ocurren en cada etapa, aunque más reacciones ocurren en aire, lo que podría parecer como un máximo de las primeras dos etapas.

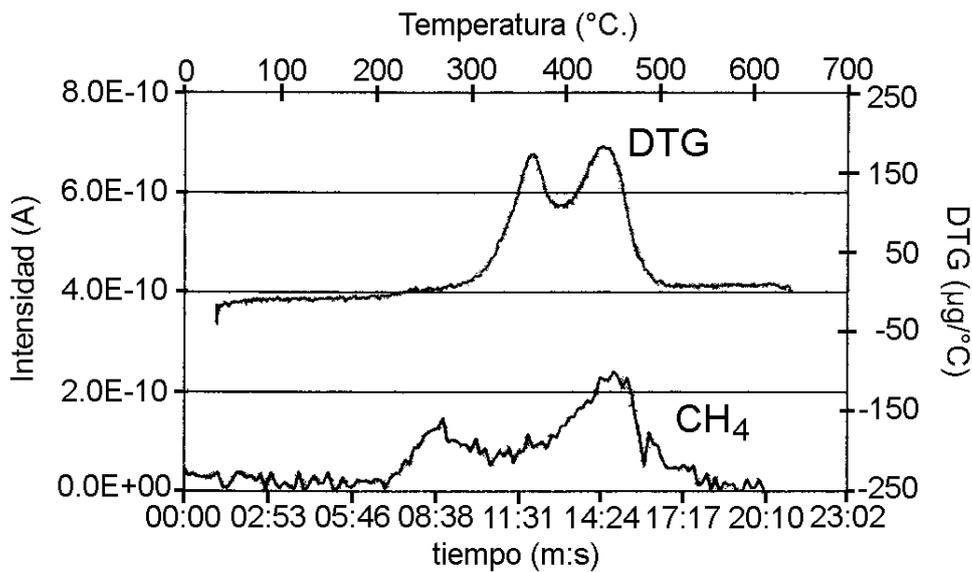
La gráfica 4.18 muestra curvas DTG con diferente rapidez de calentamiento.



Gráfica 4.18 Curvas DTG (pérdida de peso) con diferente rapidez de calentamiento.

La gráfica 4.19 muestra una curva DTG y la señal del espectrómetro de masas para metano.

Las cavidades se incrementan cuando se llega a 280°C., que coincide con los picos del espectrómetro (MS) para el metano, se debe notar que esto ocurre cuando la curva de pérdida de peso empieza a incrementarse, este comportamiento es similar en aire, y las cavidades se crean por gasificación.



Gráfica 4.19 Experimentos en argón a 30°C/min. Curva superior, pérdida de peso (DTG), y curva inferior, la señal del espectrómetro de masas para metano.

Las observaciones a temperatura elevada son:

Se observan cambios en argón y aire a temperaturas superiores a 300°C.

En la primera etapa, aparecen puntos claros y brillantes

El recubrimiento pasa de sólido a gas en la superficie.

En la segunda etapa, el proceso de degradación se manifiesta al oscurecerse el fondo. El residuo del recubrimiento se convierte en una capa de carbón residual.

La tercera etapa sólo ocurre en aire, el carbón reacciona con el oxígeno, los frentes de combustión crecen hasta encontrarse.

La figura 4.16 presenta el esquema de las etapas de la degradación de recubrimientos propuesto por Kvithyld en el deslacadado [32, 33, 34].

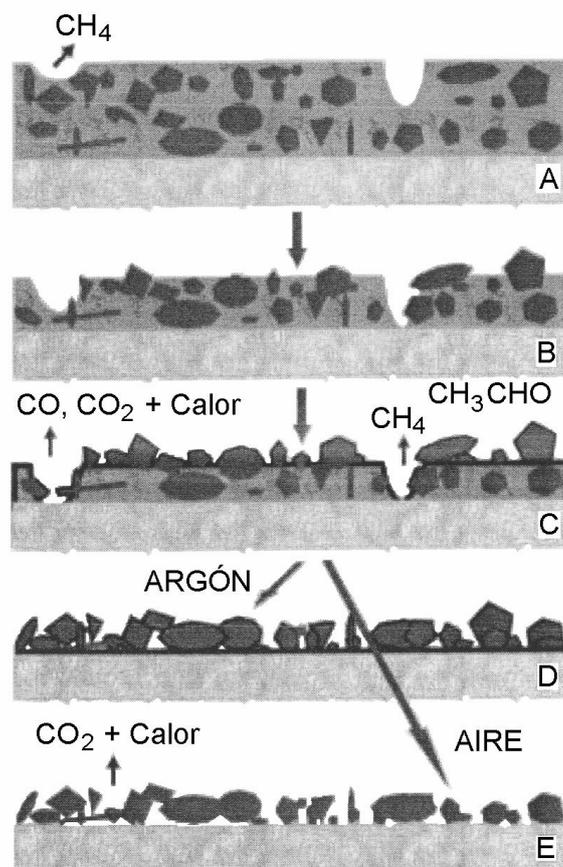


Figura 4.16 Esquema del proceso de degradación de compuestos orgánicos volátiles (VOC).

La tabla 4.14 muestra las temperaturas aproximadas en las que ocurre cada etapa en argón y aire.

<u>Tabla 4.14 Temperatura de inicio de cada etapa para argón y aire.</u>			
Etapa	Atmósfera	Calentamiento	Temperatura
		°C/min	°C.
1.	Argón	5	310
		30	370
	Aire	5	350
		30	370
2.	Argón	5	350
		30	400
	Aire	5	410
		30	440
3.	Aire	5	490
		30	520

4.12 Estudios de la capa de carbón residual en latas de aluminio de bebidas (UBC) después de someterlas a un proceso de deslacado.

La efectividad de deslacar es de gran importancia para la recuperación de aluminio, e influye en la generación de escoria en la fusión.

Al deslacar ocurren procesos de pirolisis, reacción que ocurre con calentamiento en ausencia de oxígeno y combustión. Al descomponer los compuestos orgánicos volátiles, residuos parecidos al alquitrán permanecen en el substrato de aluminio. Con la cantidad adecuada de oxígeno, las especies

volátiles reaccionan para formar productos de combustión. En el interior del envase estas reacciones son más lentas. El calor generado en este proceso puede fundir parte de la carga, por lo que una reacción lenta y controlada de los residuos es necesaria.

ALCOA desarrolló un dispositivo para medir el carbón residual en la superficie de envases deslacados.

El dispositivo consiste en:

- a) Flujómetros de oxígeno (O₂) y de nitrógeno (N₂).
- b) Horno de tubo, con cámara de temperatura mayor a 550°C.
- c) Convertidor catalítico para asegurar la conversión de CO a CO₂.
- d) Analizador infrarrojo específico de CO₂.
- e) Registrador de datos.

La figura 4.17 presenta el esquema del dispositivo ALCOA para medición de carbón residual en la superficie de latas deslacadas.

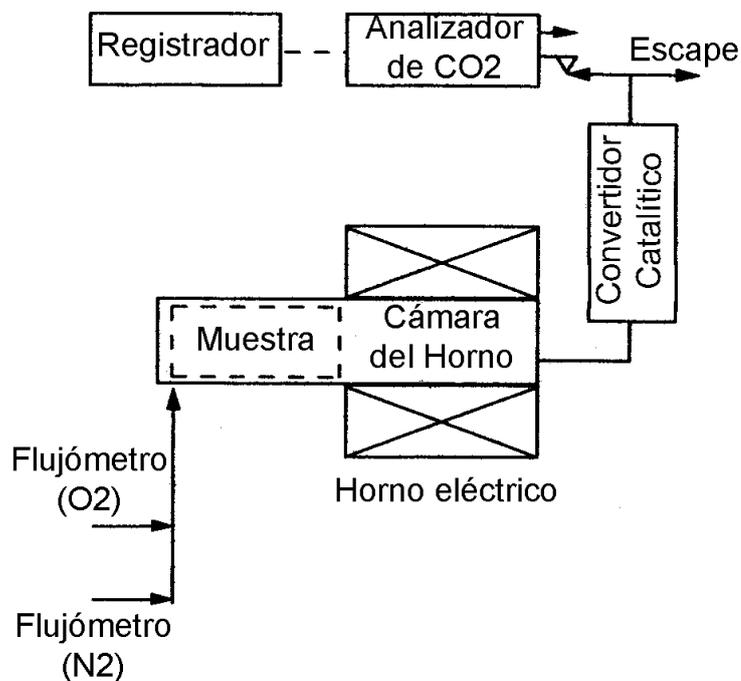
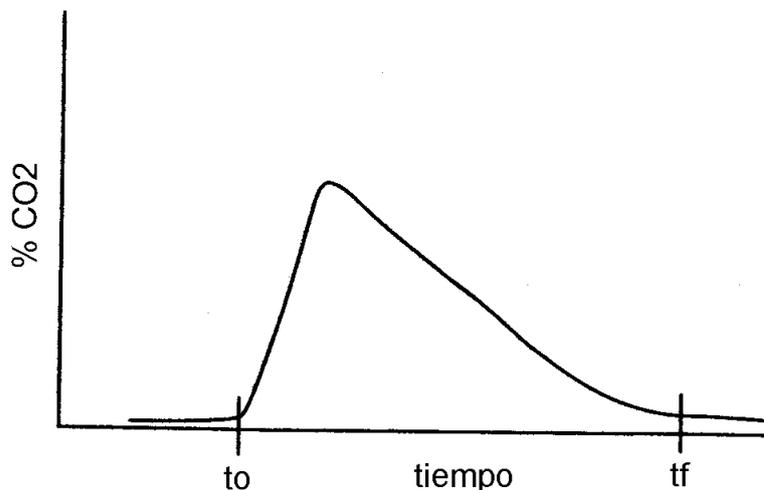


Figura 4.17 Sistema para el análisis de carbón residual en envases de aluminio con tratamiento de deslacado.

La muestra empleada es relativamente grande, de aproximadamente 0.1 m³, debido a las variaciones de pinturas de los fabricantes así como a diferencias en los procesos de deslacado. El procedimiento que se sigue comienza al colocar la muestra en el extremo frío del horno, de 2 a 5 kg, se sella la cámara del horno, y se aplican flujos de oxígeno y nitrógeno, hasta estabilizar, se introduce la muestra en la cámara caliente una vez estabilizada la temperatura y flujos. Muestras del gas de salida se analizan en continuo y se registran los resultados. Una prueba requiere de 20 a 40 minutos y se termina cuando la generación de CO₂ termina. El analizador de CO₂ y los flujómetros son regularmente calibrados.

El carbón residual varía de acuerdo a la temperatura del deslacado y atmósfera o contenido de oxígeno, tiempo de residencia y otros parámetros, y es un indicador confiable de la eficiencia de deslacado.

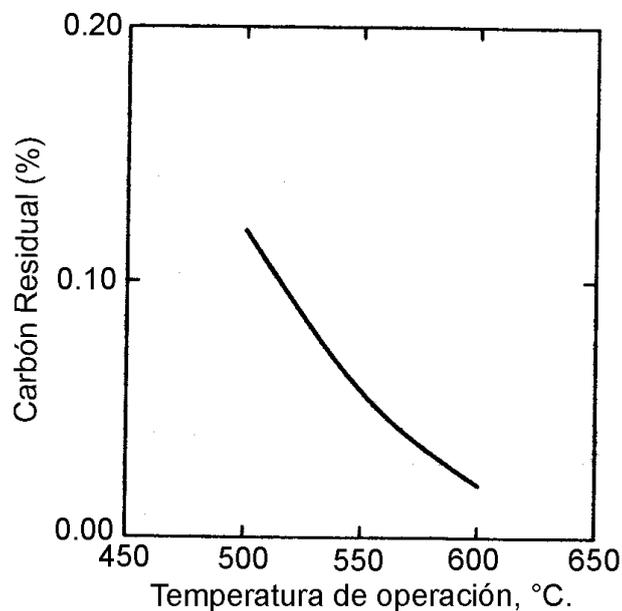
La gráfica 4.20 muestra una curva típica de un análisis de carbón residual en el dispositivo ALCOA.



Gráfica 4.20 Curva típica de un análisis de carbón residual.

El contenido de carbón residual varía de 0.02 a 0.12% en peso de muestra de envases (UBC) deslacados, dependiendo de la temperatura y otros parámetros, pero está presente en todas las muestras, y se estima que si hay un contenido de carbón de 1% antes de deslacar, se remueve de 88 a 98% en este proceso.

En la gráfica 4.21 se puede observar el comportamiento del carbón residual con respecto a la temperatura de operación del horno de deslacadado, y evaluando el material obtenido en el dispositivo ALCOA.

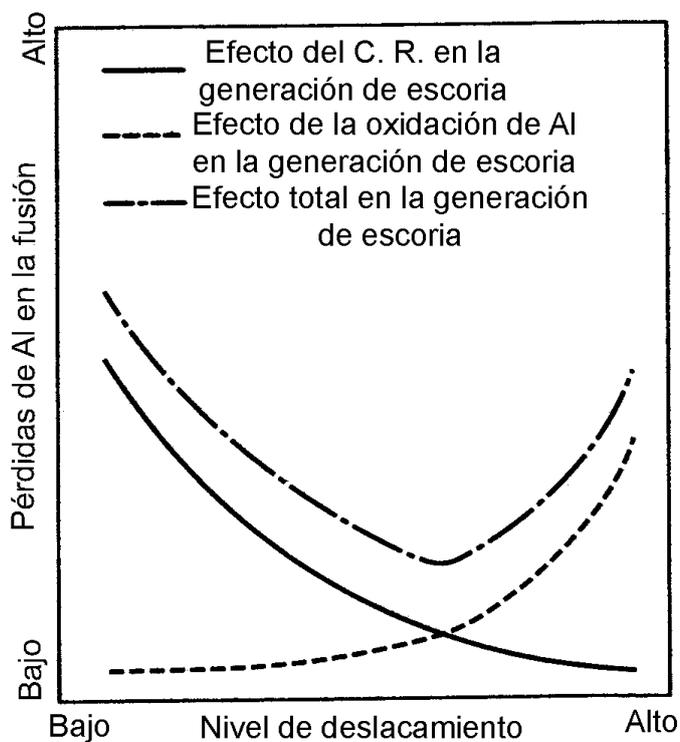


Gráfica 4.21 Carbón residual vs Temperatura de operación del horno de deslacadado.

Idealmente, una completa combustión del carbón es deseable durante el deslacadado, pero en la práctica se logra una excesiva oxidación del sustrato de aluminio cuando se remueve todo el material carbonáceo, dando como resultado la generación de más escoria en la fusión. A medida que se remueven los compuestos orgánicos volátiles, el carbón residual y la generación de escoria disminuyen, pero la superficie metálica permanece protegida mientras hay carbón, y se genera una mínima capa de óxido. Al

avanzar la remoción la calidad de la capa de carbón protectora disminuye y se acelera la oxidación del sustrato metálico.

La gráfica 4.22 presenta el efecto del carbón residual y el efecto de la oxidación excesiva del sustrato de aluminio metálico en la generación de escoria en la fusión, de acuerdo al nivel de deslucado. También se puede observar el comportamiento combinado, dando como resultado el nivel óptimo de carbón residual que debe quedar en la superficie, para que la generación de escoria en la fusión sea mínima.



Gráfica 4.22 Efecto del carbón residual y oxidación del Aluminio metálico en la formación de escoria en la fusión.

Estos resultados son muy importantes para conocer los parámetros correctos de operación de un proceso de deslacado, tales como temperatura óptima, contenido de oxígeno, velocidad crítica de trabajo de un horno rotatorio, tiempo de permanencia, entre otros, para lograr un deslacado óptimo sin destruir totalmente la capa de carbón protectora, para evitar una oxidación excesiva del sustrato metálico de aluminio, y reducir la generación de escoria en la fusión debida al proceso de deslacado al mínimo posible [21].

El carbón residual puede generar inclusiones de carburo de aluminio, Al_3C_4 , de generalmente 3 micrones o menos, lo que representa una razón importante para mantenerlo en el nivel óptimo deseado [30].

Capítulo 5. Metodología.

Se hicieron las modificaciones necesarias del horno rotatorio utilizado para deslacar envases de aluminio de bebidas industrializadas. En trabajos anteriores aparte de eliminar la pintura, el bote se fragmentaba completamente mezclándose las dos aleaciones (tapa, AA5182, y cuerpo, AA3004). Tales modificaciones tienen como propósito optimizar la eficiencia de operación, esto se traduce en retirar la tapa del cuerpo del bote, y la recuperación de tales aleaciones por separado, además de la reducción en los recubrimientos.

Para la selección de la carga introducida al horno, se tomó como base la capacidad del horno, es decir, su volumen y se proponen experimentos con 50, 60 y 70 latas, esto quiere decir que las pruebas son del tipo "Batch" o por lotes. Posteriormente se pretende determinar las condiciones ideales de operación, para obtener la mayor eficiencia posible.

a) Modificaciones realizadas al horno rotatorio.

Tales modificaciones consistieron en:

- I. Reemplazo del quemador, por cuatro quemadores de menor tamaño, para lograr una distribución del calor más homogénea y una temperatura uniforme, disminuyendo la fusión parcial del material.
- II. Diseño y construcción del soporte para el quemador, de tal modo que quede integrado a la base del horno, permitiendo que al descargar se levanten el horno, el quemador y base al mismo tiempo. Esto permite disminuir las variaciones de temperatura al descargar el horno.
- III. Modificación de la tapa posterior del horno, con lo cual se logró que la carga penetre al horno de una manera más rápida.

- IV. Se añadió una tolva de alimentación acoplada a la tapa posterior, con lo cual se facilita la introducción de la carga.
- V. Se agregó una compuerta en la parte frontal con soporte y sistema de movimiento manual, para permitir la entrada de la flama al horno y poder descargar de una manera sencilla al inclinar el horno.
- VI. Cambio de polea, de 4" a 6" de diámetro, para incrementar las revoluciones por minuto del horno de 11 a 16 r. p. m.

La descripción general del Horno Rotatorio se muestra en la figura 5.1, y a continuación se presentan esquemas para mostrar gráficamente las modificaciones realizadas.

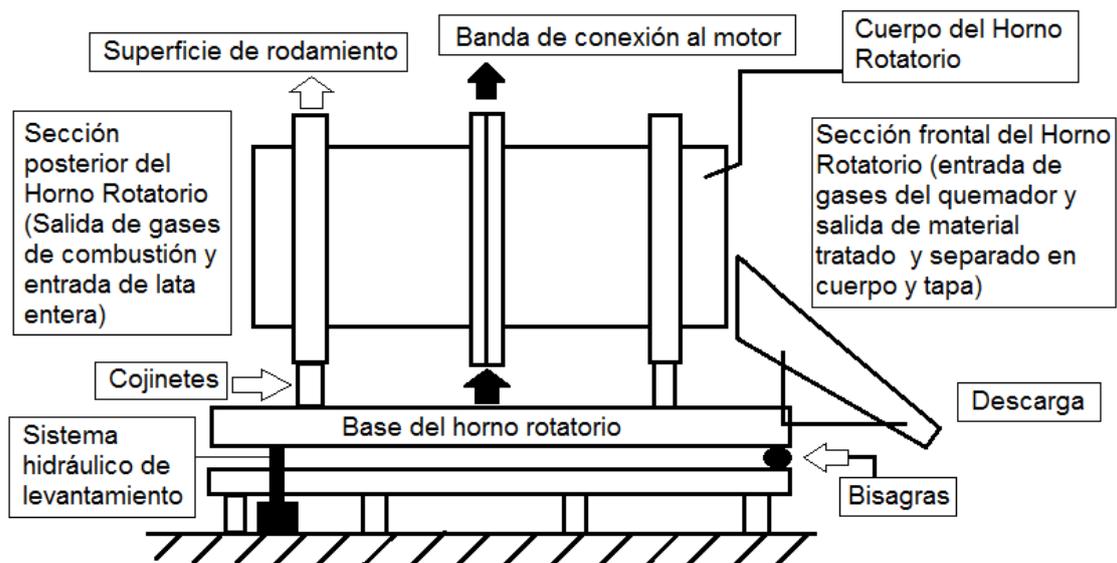


Figura 5.1 Esquema del Horno Rotatorio.

La figura 5.2 muestra una vista frontal del horno rotatorio donde se aprecian las secciones transversales y las medidas del horno se presentan en la tabla 5.1. El diámetro interno es el de la cámara donde se introduce la carga, formada por una placa de acero inoxidable con paletas de agitación y sus recubrimientos de lana mineral y refractario entre dicha placa y el cuerpo del horno, el diámetro

central es el del cuerpo sin recubrimientos internos, y el diámetro exterior es el mayor diámetro del cuerpo.

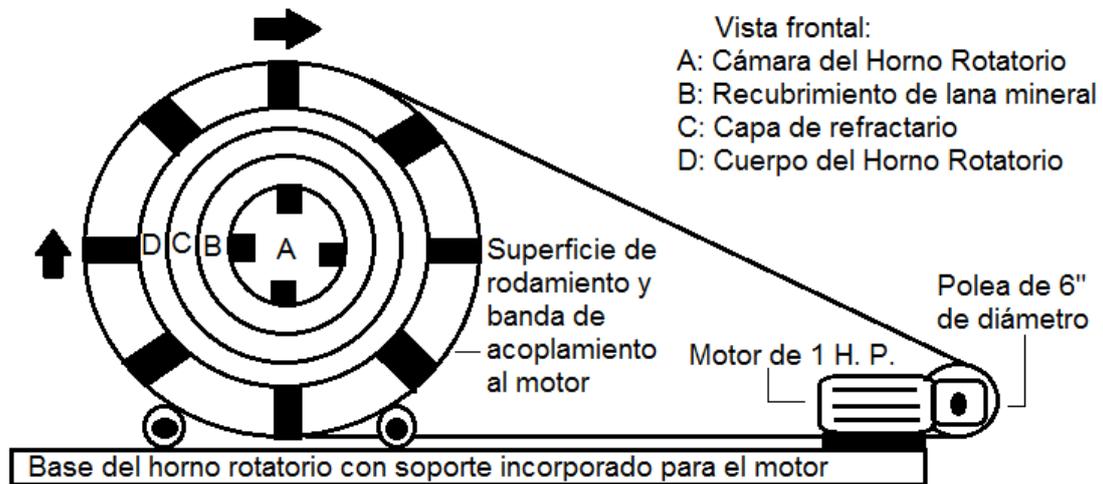


Figura 5.2 Corte transversal del horno rotatorio.

Tabla 5.1 Medidas del Horno Rotatorio.	
Cuerpo:	Medida (cm).
Largo.	90
Diámetro interno, o de la cámara del horno.	29
Diámetro central, cuerpo sin aislante ni refractario.	38.5
Diámetro externo total.	40

La figura 5.3 muestra la tapa frontal y la figura 5.4 presenta la tapa posterior, ambas sin modificaciones. La tapa frontal tenía un diámetro exterior de 29 cm, para introducirse en la parte interna del extremo del horno, y la tapa posterior un diámetro externo de 38 cm, para quedar sobrepuesta en el extremo posterior del horno. Las dos tapas tenían un diámetro interno de 12 cm.

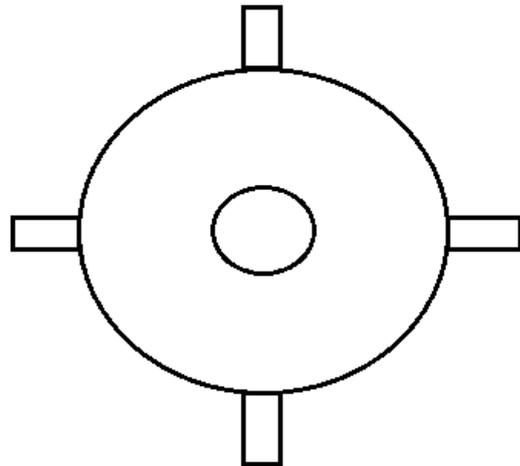
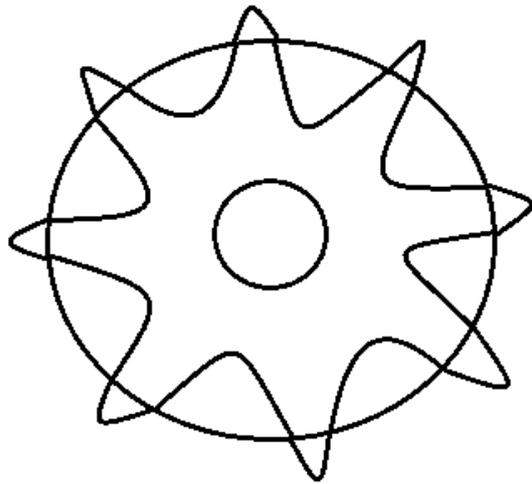


Figura 5.3 Tapa frontal sin modificar.

Figura 5.4 Tapa posterior sin modificar.

Tapas modificadas. La figura 5.5 presenta el nuevo diseño de la compuerta frontal, las medidas de esta tapa son:

Marco: largo de 34 cm. y altura de 38 cm. Diámetro del anillo interno: 8 cm., diámetro del anillo intermedio: 16 cm. y diámetro del anillo exterior: 24 cm.

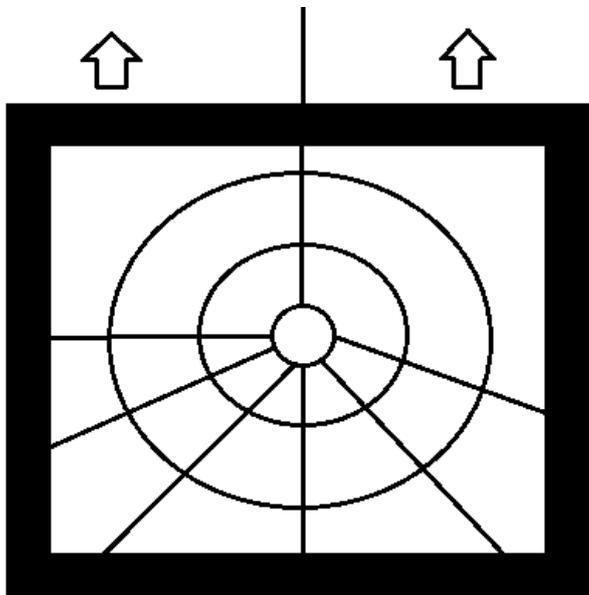


Figura 5.5 Nuevo diseño de la compuerta frontal.

La figura 5.6 muestra el nuevo diseño para la tapa posterior, cuyas medidas son: Diámetro externo: 38 cm, y diámetro interno: 22 cm.

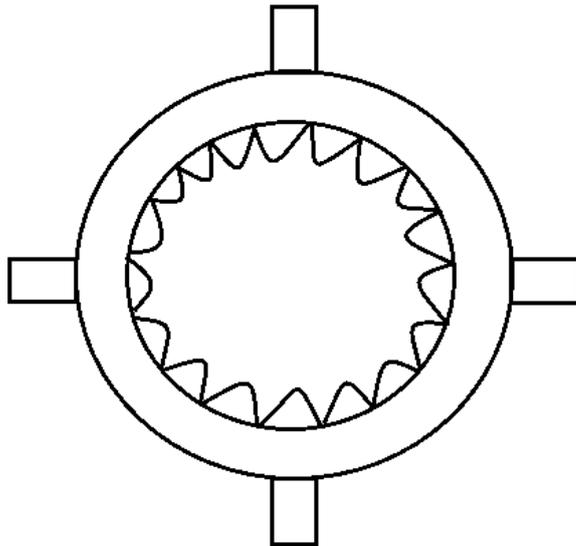


Figura 5.6 Nuevo diseño de tapa posterior.

En la figura 5.7 se muestra la tolva de alimentación de lata entera, y la colocación de la tapa posterior y de la compuerta frontal.

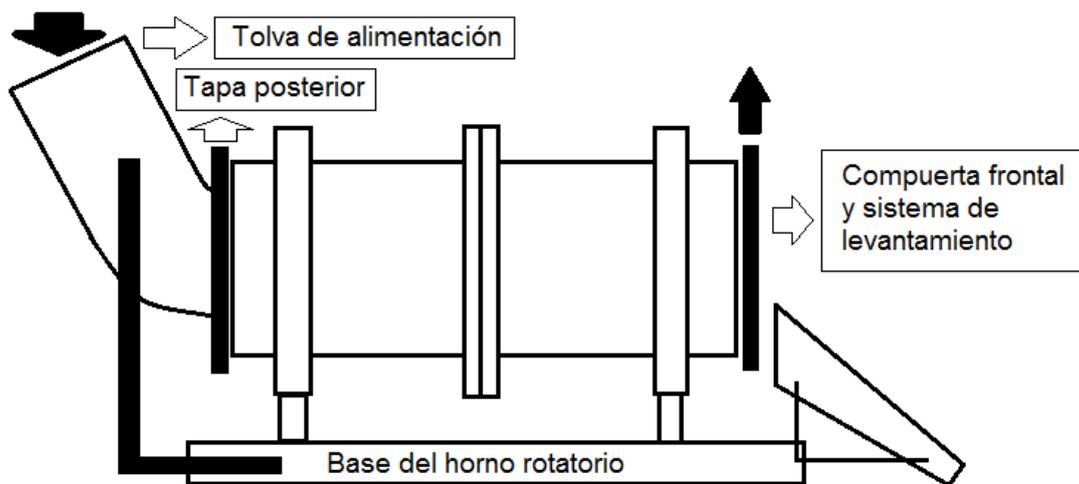


Figura 5.7 Diagrama del Horno Rotatorio mostrando la posición de la tolva de alimentación de lata entera, de la tapa posterior y de la compuerta frontal.

En la figura 5.8 se puede apreciar la vista lateral del nuevo quemador, el cual se compone de una cámara de mezclado y 4 boquillas, así como su posición en la sección frontal del horno y puntos de conexión a la red de aire y gas L. P.

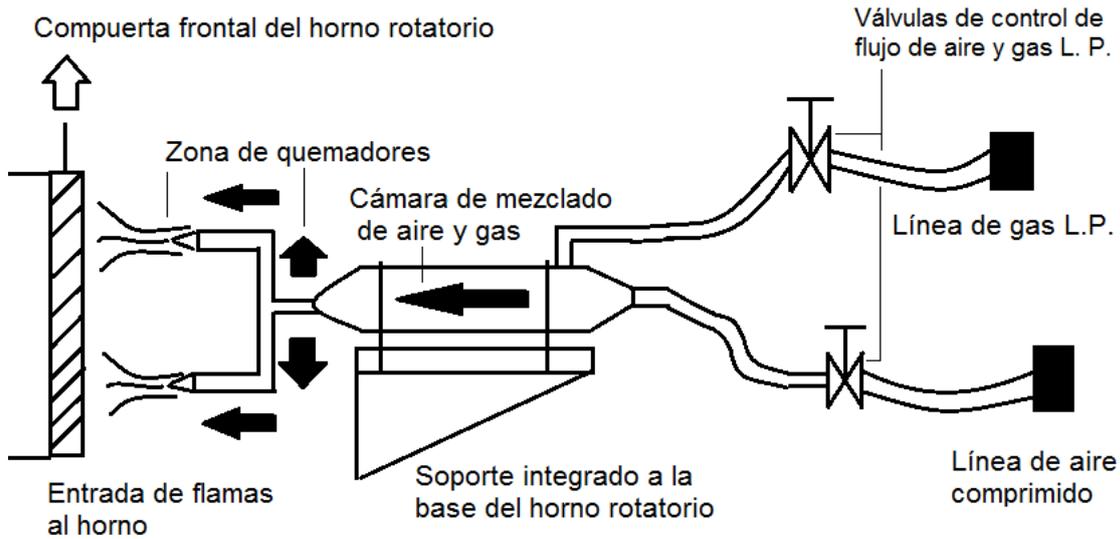


Figura 5.8 Vista lateral de los quemadores y sistemas de alimentación de gas L. P. y aire.

La figura 5.9 muestra una recomendación para colocar correctamente flujómetros y manómetros de aire y gas L. P., para ajustar la flama, y controlar la temperatura, y lograr reducir las variaciones en las condiciones de operación del quemador y del horno rotatorio.

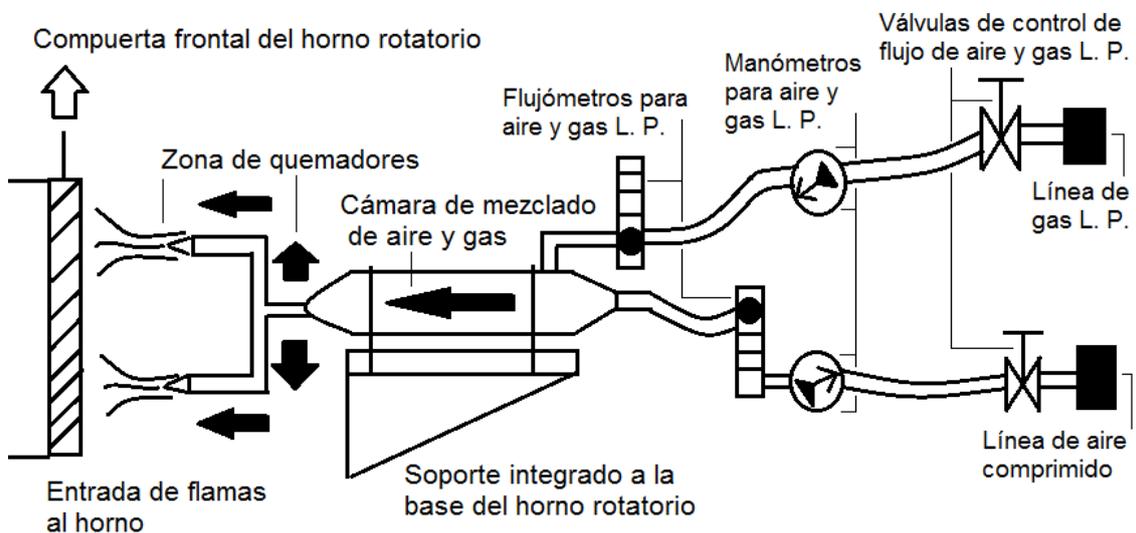


Figura 5.9 Colocación de flujómetros, manómetros y válvulas de control de aire y gas L. P.

La figura 5.10 muestra la vista frontal del quemador, señalando las cuatro boquillas de menor tamaño, en estado apagado para señalar su posición.

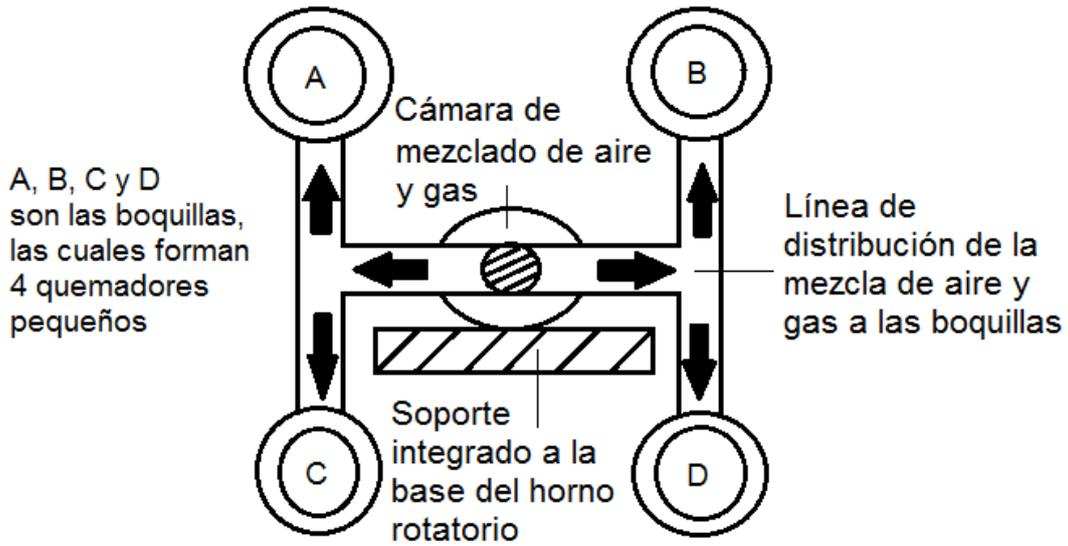


Figura 5.10 Esquema frontal de 4 quemadores de tamaño reducido, apagados.

En la figura 5.11 se aprecian frontalmente las cuatro boquillas de menor tamaño del quemador mostrando su estado encendido y dirección de las flamas.

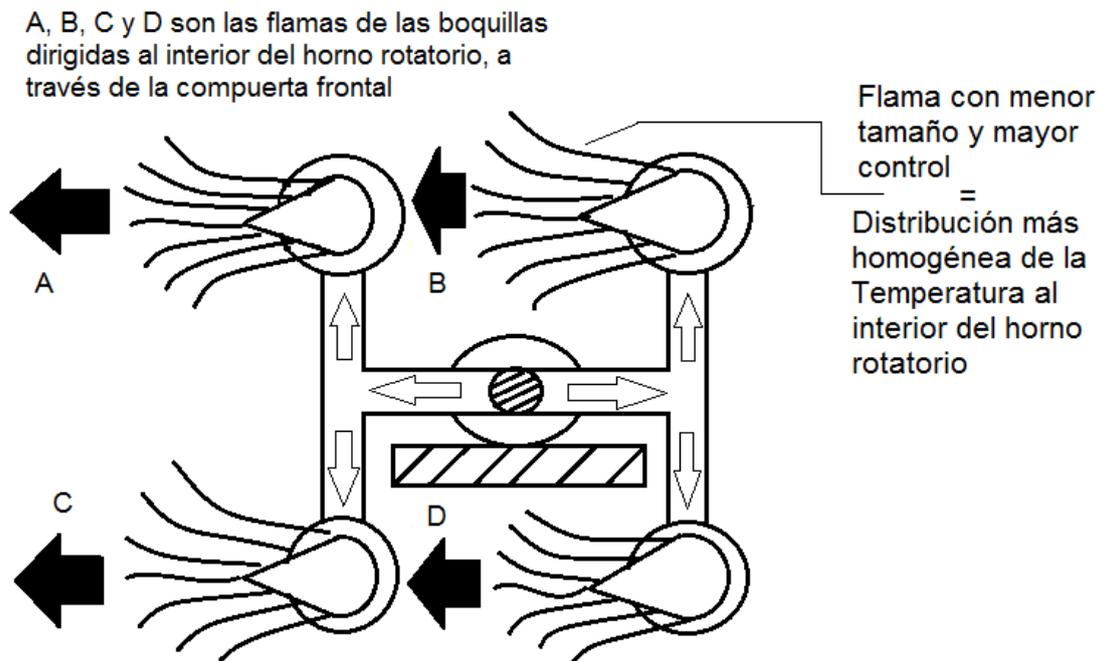


Figura 5.11 Esquema frontal de 4 quemadores de tamaño reducido, encendidos.

La figura 5.12 señala la ubicación de termopares y la conexión con un adquisidor de temperaturas acoplado a una P. C., para la medición y registro de temperatura, sin embargo, el termopar más importante y con el cual se controla el proceso es el termopar 1 (T. 1).

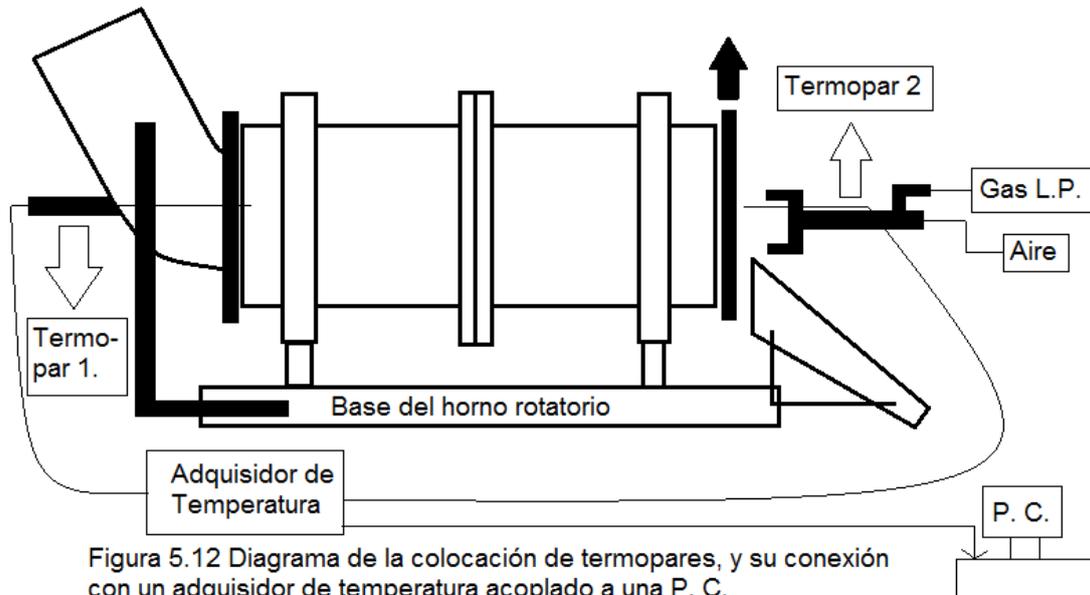


Figura 5.12 Diagrama de la colocación de termopares, y su conexión con un adquisidor de temperatura acoplado a una P. C.

El horno rotatorio cuenta con un motor de 1 H. P. acoplado a un reductor de velocidad como sistema motriz, y un sistema hidráulico de levantamiento para efectuar la descarga, de este modo, el horno gira a 16 r. p. m.

b) Instrumentación del proceso (medición de temperatura y análisis térmico).

Para la determinación de las condiciones óptimas se procedió, en una primera etapa, como se detalla a continuación:

- I. Estabilizar la temperatura de inicio de prueba, con los termopares colocados correctamente en el horno rotatorio y un adquisidor de

temperaturas, verificando que la compuerta frontal esté en la posición adecuada.

- II. Dar al horno una pequeña inclinación de 1 cm. para que la carga se incline ligeramente a la parte frontal.
- III. Estabilizar el equipo antes de introducir la carga al horno.
- IV. Retirar el termopar.
- V. Proceder a la introducción de la carga.
- VI. Reintroducir el termopar a la cámara en la posición correcta.
- VII. Medir el tiempo de prueba, para 5 y 6 minutos.
- VIII. Para retirar la carga se requiere levantar el horno usando el sistema hidráulico de elevación, y abrir la compuerta frontal manualmente y recibir la carga en contenedores metálicos debido a que sale caliente.
- IX. Finalmente, se procede a evaluar la carga.

Después de estabilizar el horno, retirar el termopar, introducir la carga y reintroducir el termopar a la cámara, se registran los cambios de temperatura debidos a la combustión de los recubrimientos y comportamiento de la carga en la prueba. Se observa la formación de un pico de temperatura máxima, después de la cual la temperatura desciende hasta un punto donde mantiene y genera una meseta, esto sin alterar los flujos de aire y/o gas, al retirar la carga del horno se vuelve a estabilizar la temperatura de inicio y se prepara para un nuevo experimento.

Para todos los experimentos se utilizaron para medir temperatura termopares tipo K (T.1 y T. 2), y un adquisidor de temperaturas acoplado a una P. C.

c) Control de la temperatura para optimizar el proceso.

Con los datos obtenidos, que consisten esencialmente en la máxima temperatura alcanzada dentro de la cámara y dónde se forma la meseta, se procede entonces a elevar la temperatura de dicha meseta manipulando los flujos de aire y/o gas el tiempo que dure la prueba, y registrar dichos cambios, con el objetivo de alcanzar una alta eficiencia en el desprendimiento de la tapa del bote, y relacionar resultados con las pruebas sin alteración en los flujos de aire y/o gas.

De este modo se puede hacer un análisis comparativo de la eficiencia del proceso cuando no hay ningún tipo de control, cuando se instrumenta para caracterizar el proceso y cuando la experimentación se lleva a cabo de una manera controlada, manteniendo la temperatura alta, con el termopar dentro de la cámara, y modificando los flujos de gas y aire.

d) Diseño experimental.

La tabla 5.2 muestra la forma en que se llevaron a cabo los experimentos de manera ordenada. Algunas consideraciones importantes que se deben mencionar son: cargas de 50, 60 y 70 latas, de acuerdo a la capacidad del horno rotatorio, tiempo de prueba constante de 5 minutos, y se dividió la temperatura en baja (520- 530 °C.) y alta (536- 544°C.), y los principales datos a obtener son # de latas en la prueba, # de latas sin tapa, # de latas con tapa, # de latas con la tapa parcialmente desprendida y # de botes fragmentados.

Para todas las pruebas que se mencionan, para abreviar se indican las siglas **CTSC** y **CTCC** cuyo significado es:

CTSC: significa reintroducir el termopar sin alterar manualmente el flujo de aire y/o de gas, durante la prueba, y

CTCC: implica controlar la temperatura, a través de la manipulación del flujo de aire y/o gas, después de que la temperatura máxima desciende y empieza a estabilizarse.

Tabla 5.2 Experimentos realizados con 5 minutos de residencia.			
# de latas.	Temp. (°C.)	CTSC.	CTCC.
50	520- 530	3	3
	536- 544	No Aplica	No Aplica
60	520- 530	3	3
	536- 544	No Aplica	No Aplica
70	520- 530	No Aplica	No Aplica
	536- 544	3	3
Tiempo= 5 minutos de prueba.			

Es necesario resaltar que en la tabla anterior el número 3 indica triplicado, es decir el número mínimo de corridas que tienen un comportamiento similar y reproducible, mientras que "No aplica" indica que esas corridas no es necesario llevarlas a cabo, debido a que se conoce el resultado de antemano, es decir, con 50 y 60 latas de carga con temperatura inicial alta, se fragmentarán antes de terminar la prueba debido a que se eleva demasiado la temperatura, y en caso contrario, con 70 latas la temperatura baja impide que la carga se caliente lo suficiente, por lo que toda la carga saldrá con la pintura quemada y todo el bote con tapa.

Se propone repetir las corridas anteriores pero con un tiempo de 6 minutos para ver si aumentar un minuto aumenta significativamente la eficiencia de separación de cuerpo y tapa que justifique el consumo extra de gas. La tabla 5.3 presenta los experimentos que se deben llevar a cabo con un minuto extra.

Tabla 5.3 Experimentos realizados con 6 minutos de residencia.			
# de latas.	Temp. (°C.)	CTSC.	CTCC.
50	520- 530	3	3
	536- 544	No Aplica	No Aplica
60	520- 530	3	3
	536- 544	No Aplica	No Aplica
70	520- 530	No Aplica	No Aplica
	536- 544	3	3
Tiempo= 6 minutos de prueba.			

Capítulo 6. Resultados.

Introducción: Se presentan los datos de las pruebas con 5 minutos de residencia, 50 latas CTSC y CTCC, 60 latas CTSC y CTCC y 70 latas CTSC y CTCC. Posteriormente se presentan en el mismo orden con 6 minutos de residencia, 50 latas CTSC y CTCC, 60 latas CTSC y CTCC y 70 latas CTSC y CTCC.

Los resultados que se presentan para cada experimento son historia térmica, que consiste en una gráfica de temperatura vs. tiempo, histogramas en número y porcentaje, además de tablas de resultados. Los histogramas de resultados en número muestran en base a la cantidad de latas en la prueba, el número de latas sin tapa o “# latas s/T”, el número de latas con tapa o “# latas c/T”, el número de latas con la tapa parcialmente desprendida o “# latas c/Tpd”, el número de botes fragmentados o “# latas frag.”. Los histogramas de porcentaje muestran el porcentaje de latas sin tapa o “% latas s/T”, el porcentaje de latas con tapa o “% latas c/T”, el porcentaje de latas con la tapa parcialmente desprendida o “% latas c/Tpd”, el porcentaje de lata fragmentados o “% latas frag.”, para cada prueba de 50, 60 y 70 latas, CTSC y CTCC para 5 y 6 minutos. Las tablas se incluyen para facilitar la lectura.

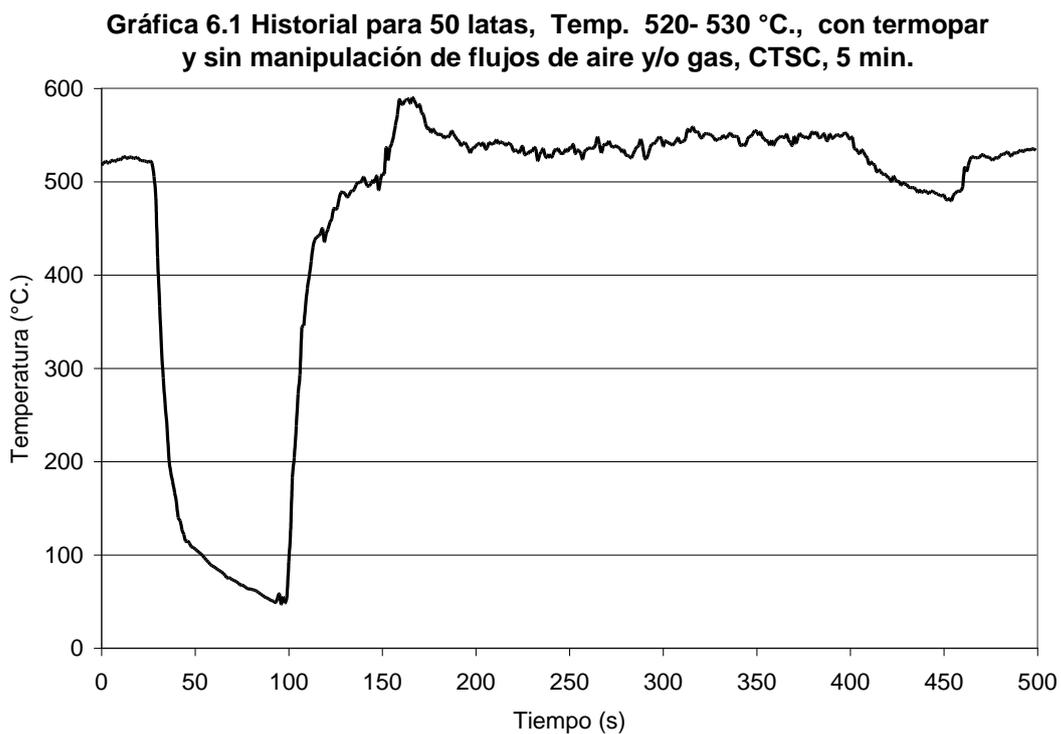
Para todos los resultados reportados a continuación, las siglas CTSC y CTCC tienen el siguiente significado:

“**CTSC**” pruebas que se llevaron a cabo sin alterar manualmente el flujo de aire o e gas, sirven para caracterizar las etapas y mostrar el pico de temperatura máxima y la formación de una meseta,

“CTCC” pruebas en las que manipularon flujos de aire y/o gas, para elevar de manera controlada la temperatura de la meseta durante el tiempo de residencia después de que la temperatura máxima del pico desciende.

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.1 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

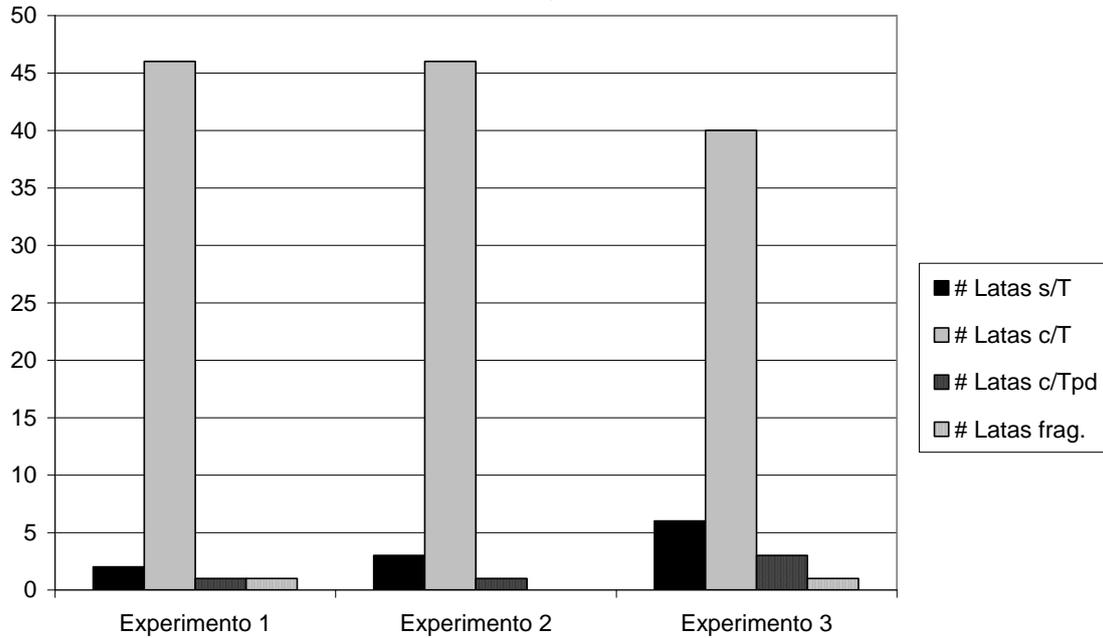
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 100 segundos, después de que la carga se introdujo totalmente y termina en 400, antes de descargar el horno. La diferencia son 300 segundos o 5 minutos que son el tiempo de prueba.



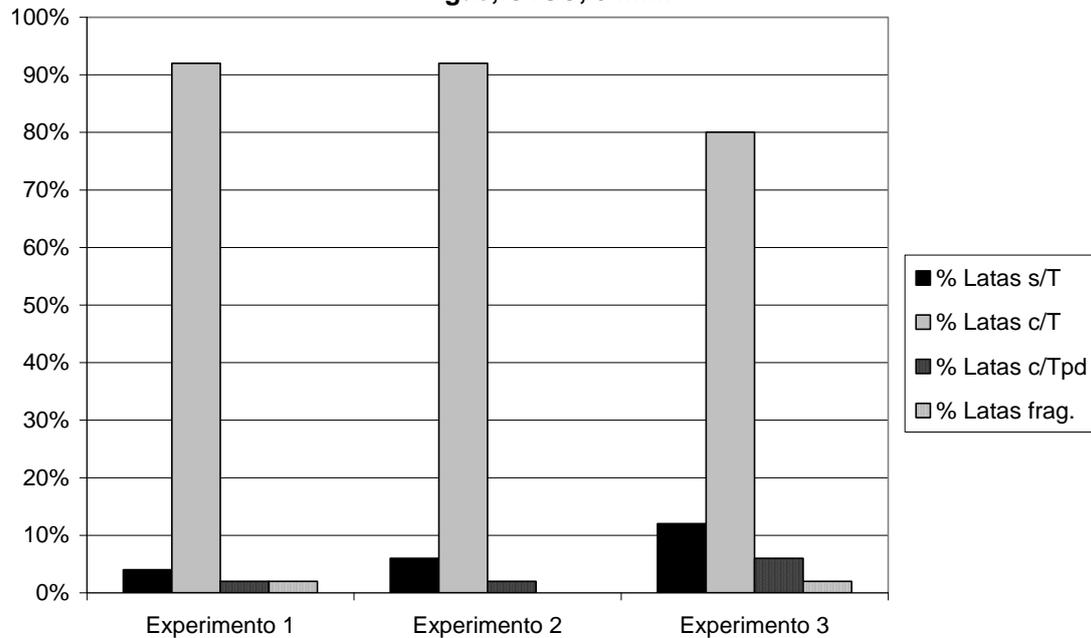
Los histogramas de resultados con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC,

y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.2 y 6.3, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.2 Histograma de resultados en número, 50 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



Gráfica 6.3 Histograma de resultados en porcentaje, 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



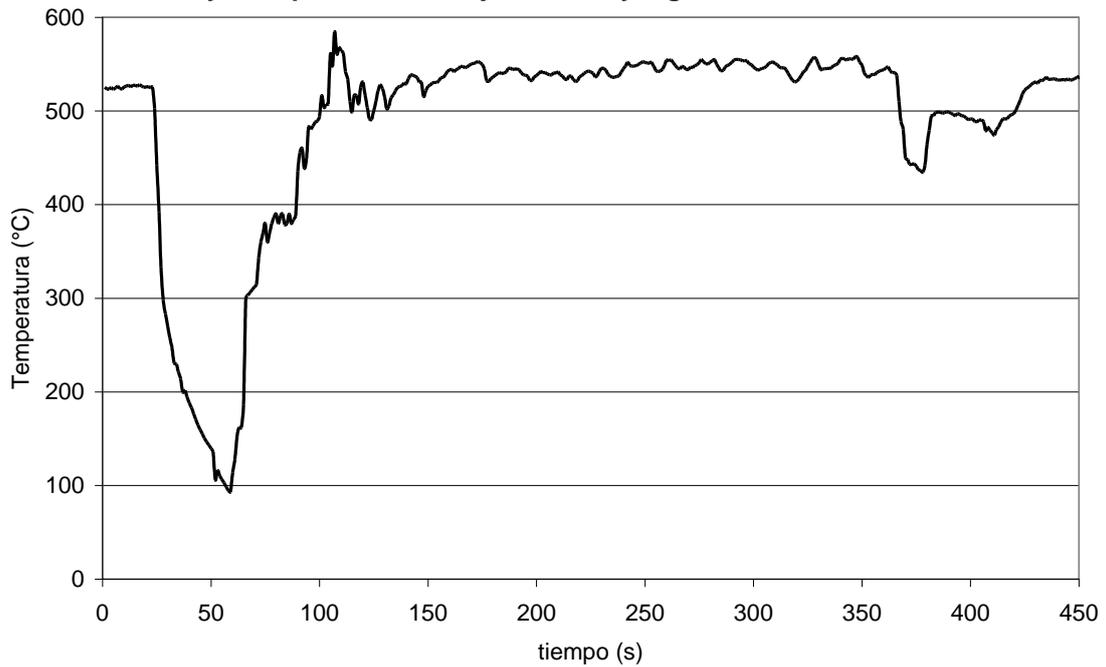
La tabla 6.1 presenta los resultados de experimentos con 50 latas, Temp. 520-530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 5 minutos de prueba.

Tabla 6.1 Resultados de 50 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	2	46	1	1
2	3	46	1	0
3	6	40	3	1
Promedio.	3.67	44	1.67	0.67
% (Prom.)	7.34	88	3.34	1.34

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.4 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

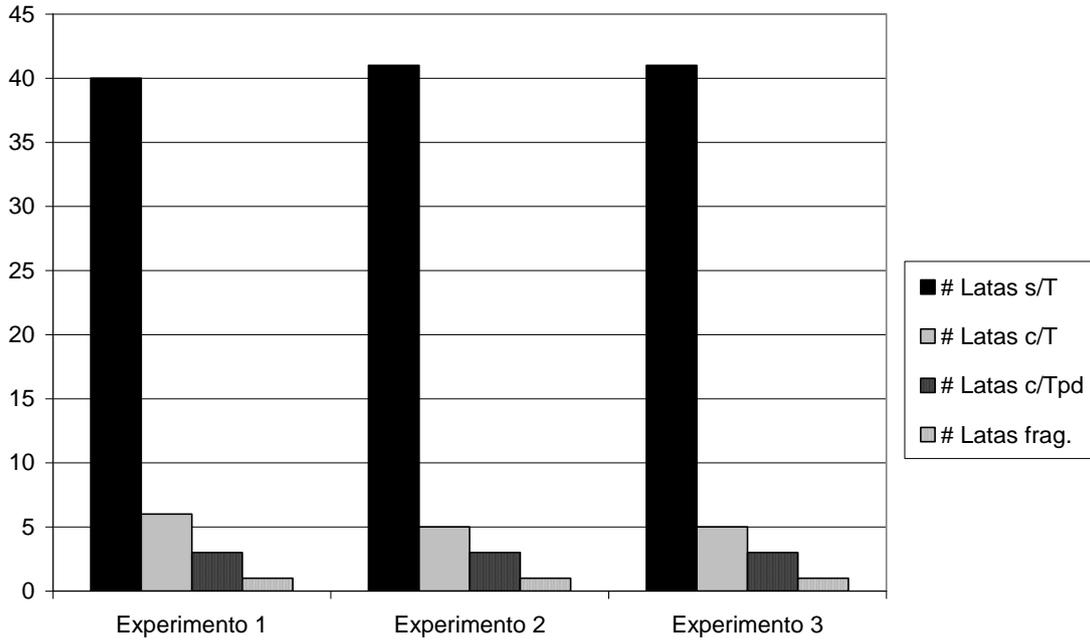
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 350, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.4 Historial para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.

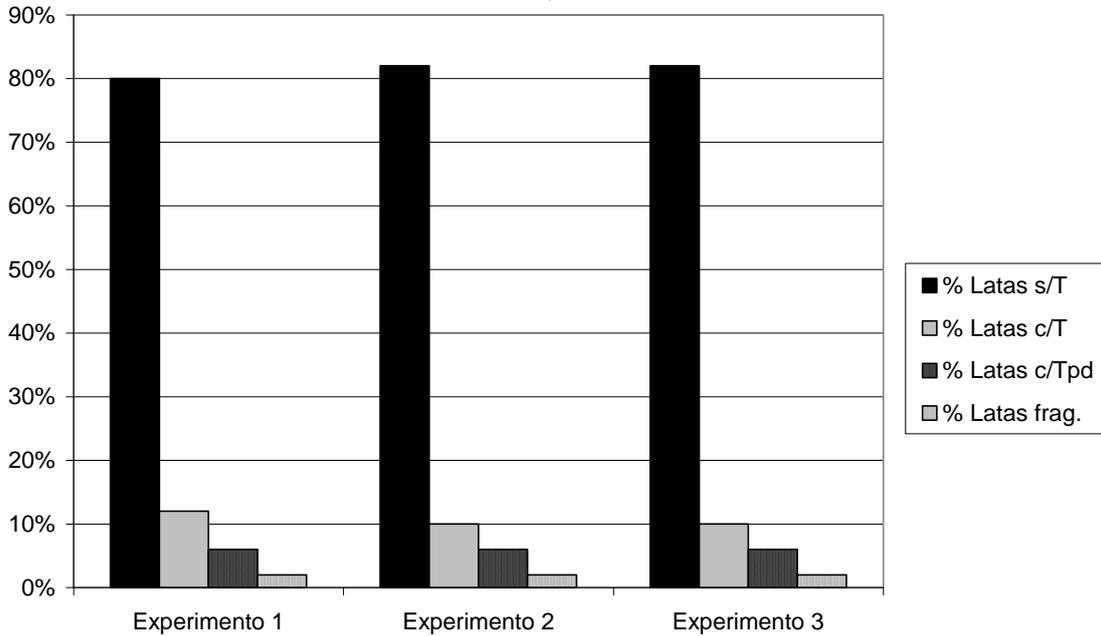


Los histogramas de resultados con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.5 y 6.6, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.5 Histograma de resultados en número, 50 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



Gráfica 6.6 Histograma de resultados en porcentaje, 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



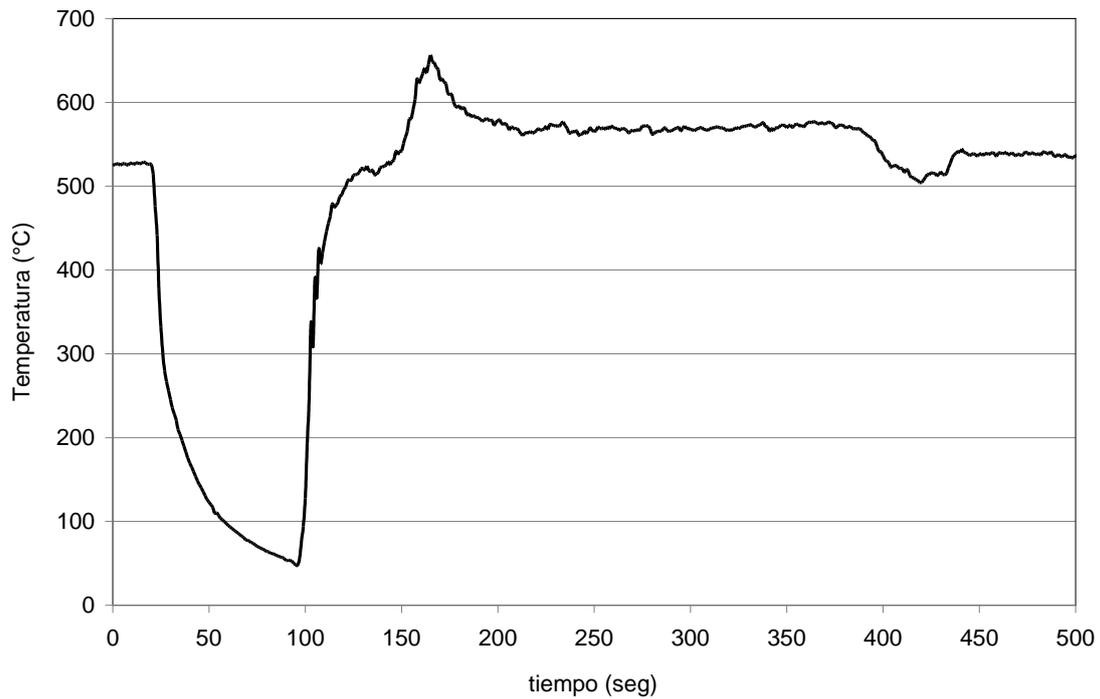
La tabla 6.2 presenta los resultados de experimentos con 50 latas, Temp. 520-530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba.

Tabla 6.2 Resultados de 50 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	40	6	3	1
2	41	5	3	1
3	41	5	3	1
Promedio.	40.67	5.34	3	1
% (Prom.)	81.34	10.67	6	2

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.7 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

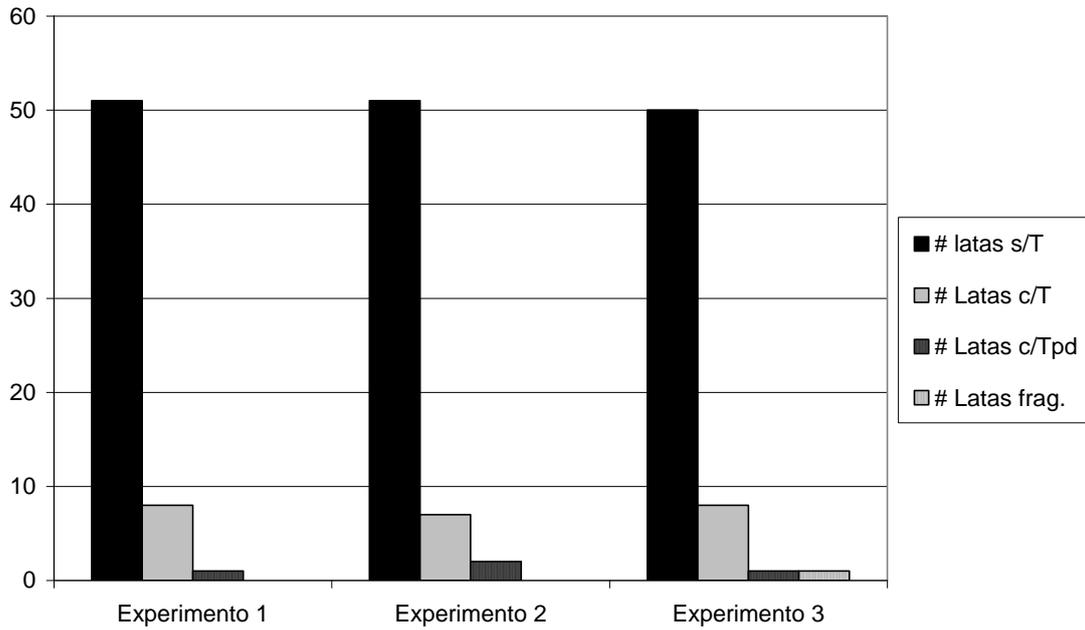
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 100 segundos, y termina en 400, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.7 Historial para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.

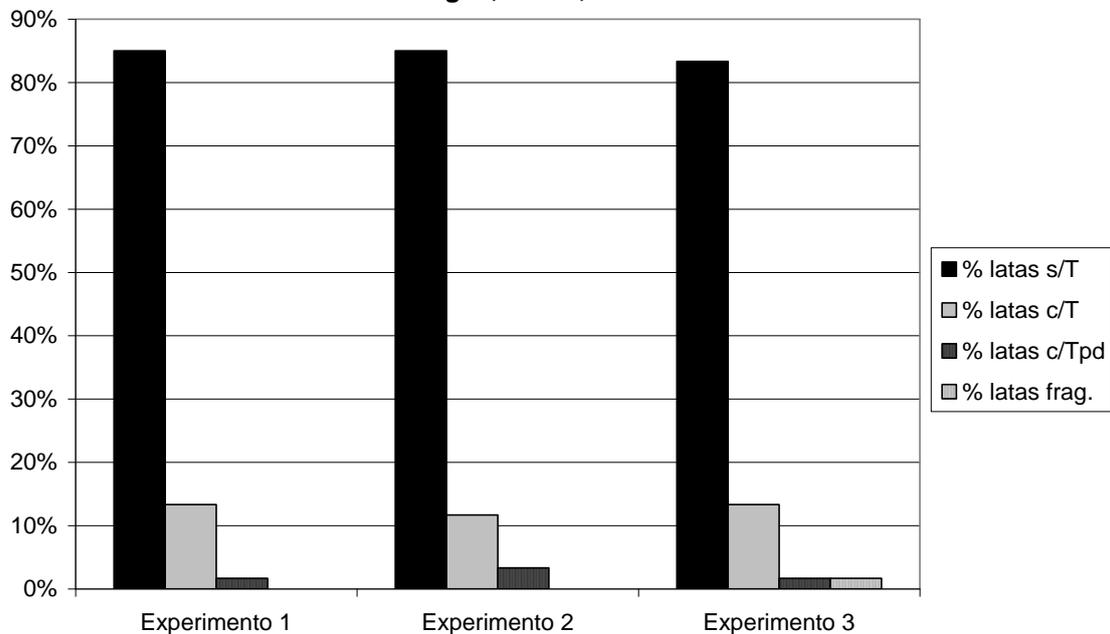


Los histogramas de resultados con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.8 y 6.9, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.8 Histograma de resultados en número, 60 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



Gráfica 6.9 Histograma de resultados en porcentaje, 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



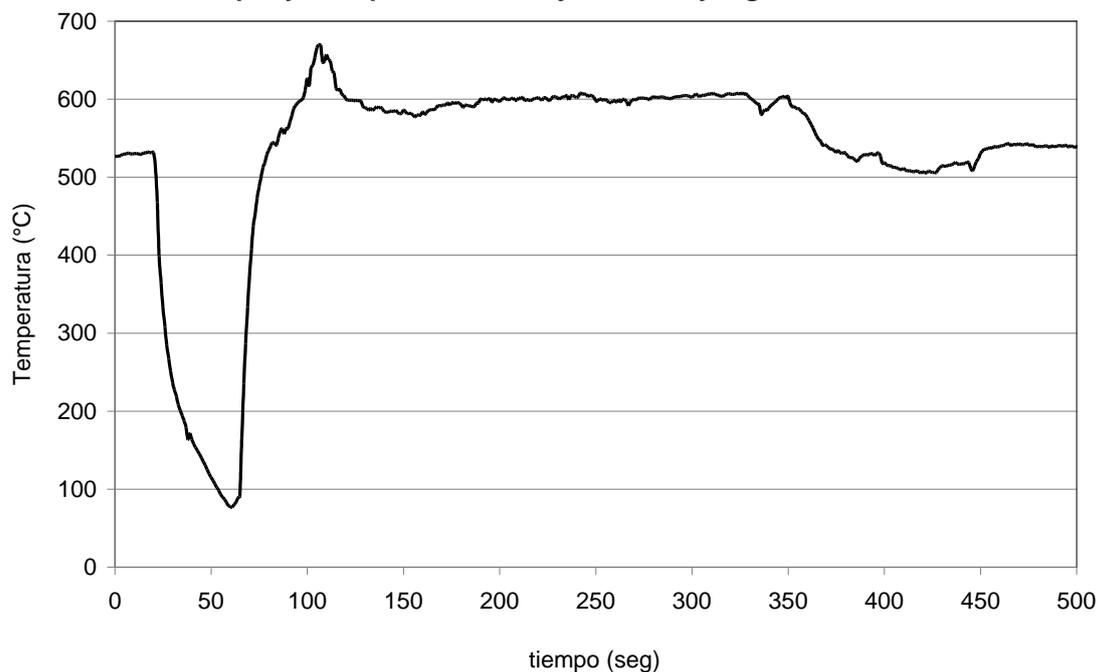
La tabla 6.3 presenta los resultados de experimentos con 60 latas, Temp. 520-530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 5 minutos de prueba.

Tabla 6.3 Resultados de 60 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	51	8	1	0
2	51	7	2	0
3	50	8	1	1
Promedio.	50.67	7.67	1.34	0.34
% (Prom.)	84.45	12.78	2.23	0.56

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.10 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

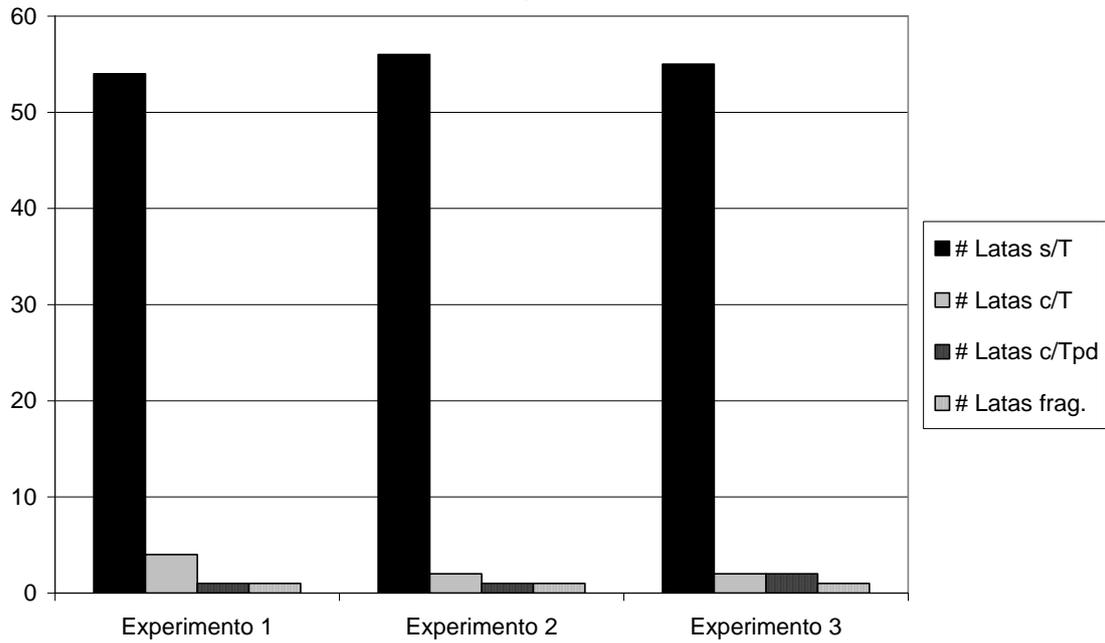
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 350, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.10 Historial para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.

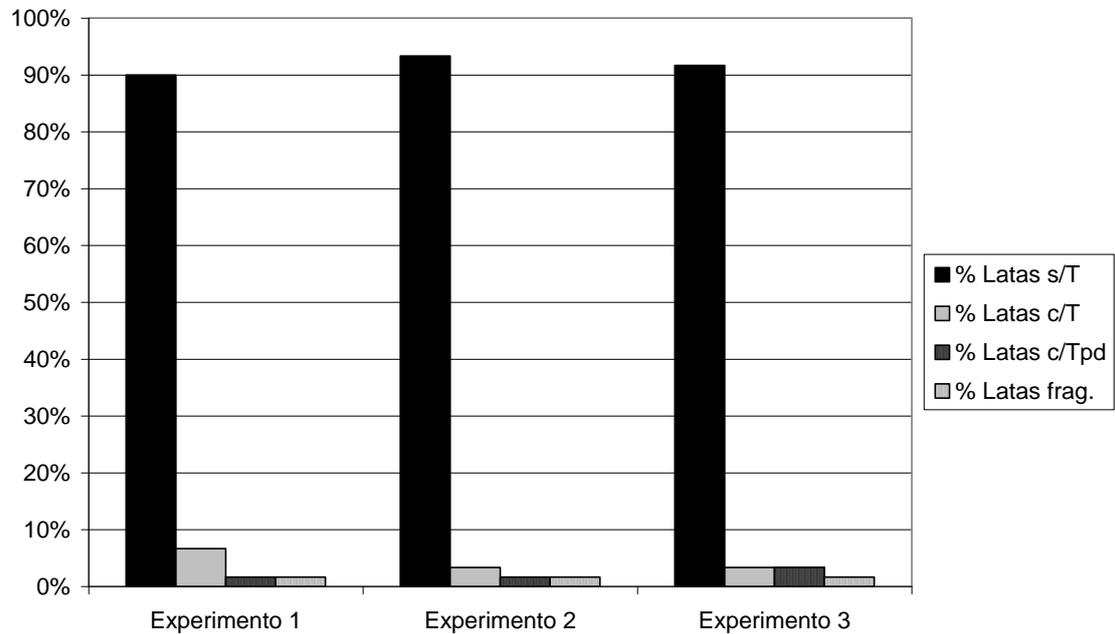


Los histogramas de resultados con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.11 y 6.12, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.11 Histograma de resultados en número, 60 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



Gráfica 6.12 Histograma de resultados en porcentaje, 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



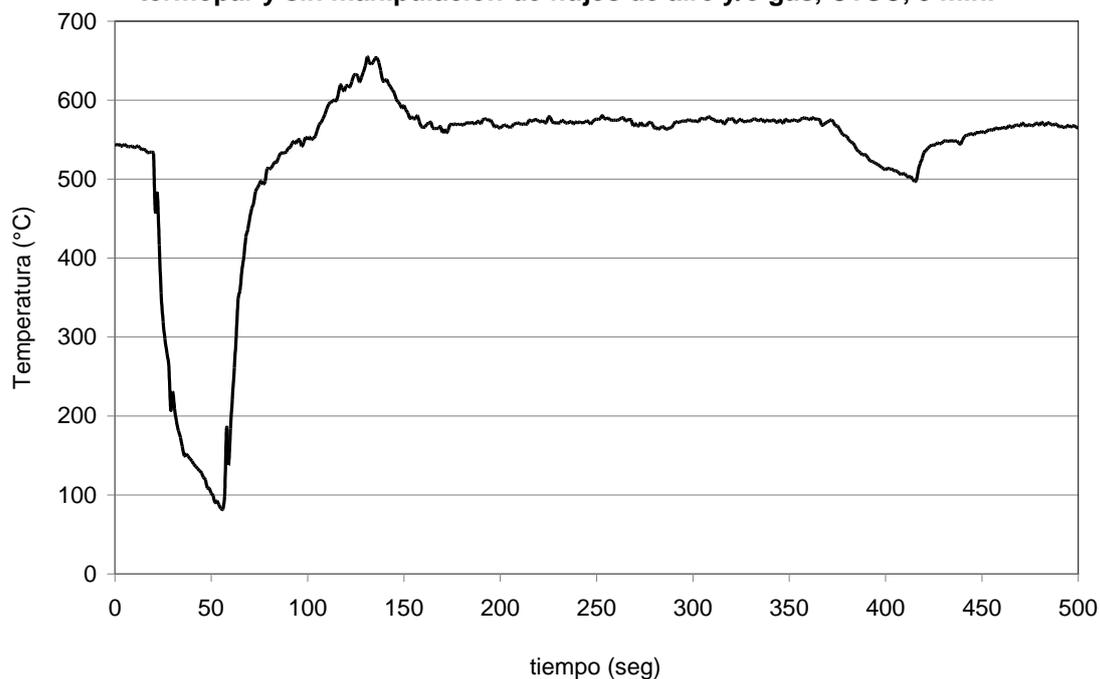
La tabla 6.4 presenta los resultados de experimentos con 60 latas, Temp. 520-530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba.

Tabla 6.4 Resultados de 60 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	54	4	1	1
2	56	2	1	1
3	55	2	2	1
Promedio.	55	2.67	1.34	1
% (Prom.)	91.67	4.45	2.23	1.67

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.13 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

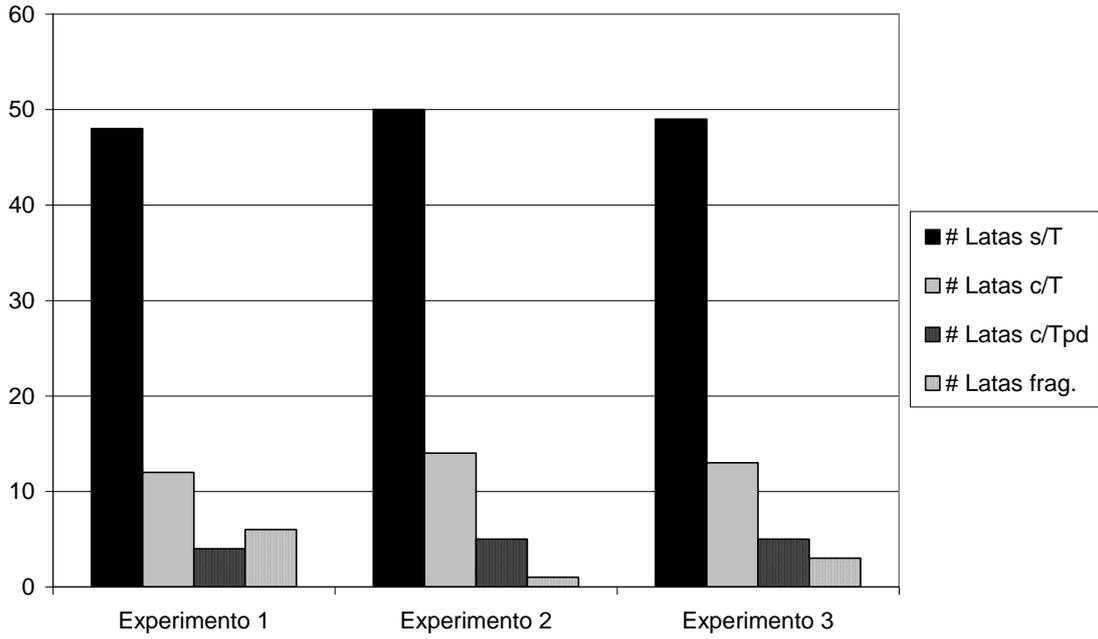
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 350, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.13 Historial para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.

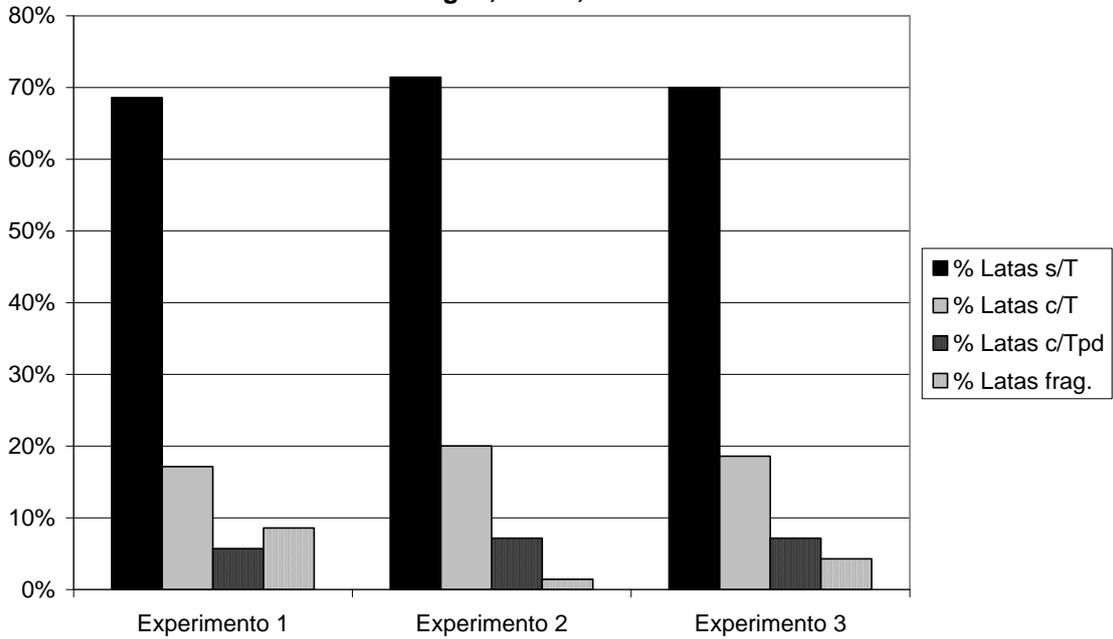


Los histogramas de resultados con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.14 y 6.15, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.14 Histograma de resultados en número, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



Gráfica 6.15 Histograma de resultados en porcentaje, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



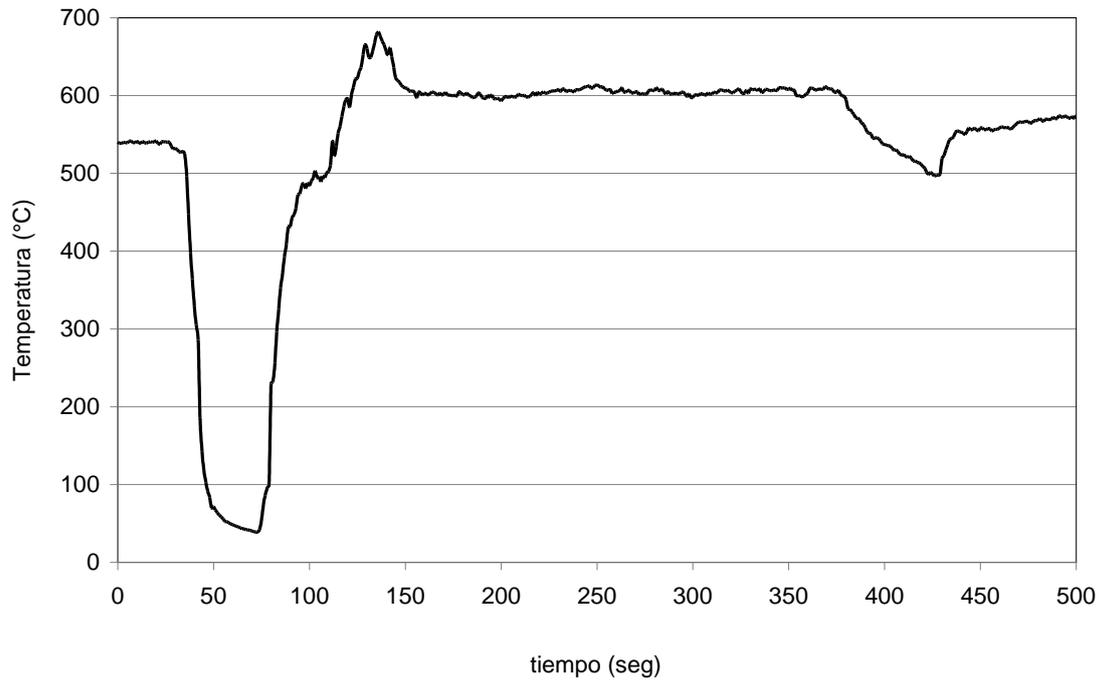
La tabla 6.5 presenta los resultados de experimentos con 70 latas, Temp. 536-544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 5 minutos de prueba.

Tabla 6.5 Resultados de 70 latas, Temp. 536- 544 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	48	12	4	6
2	50	14	5	1
3	49	13	5	3
Promedio.	49	13	4.67	3.34
% (Prom.)	70	18.57	6.67	4.76

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.16 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 5 minutos.

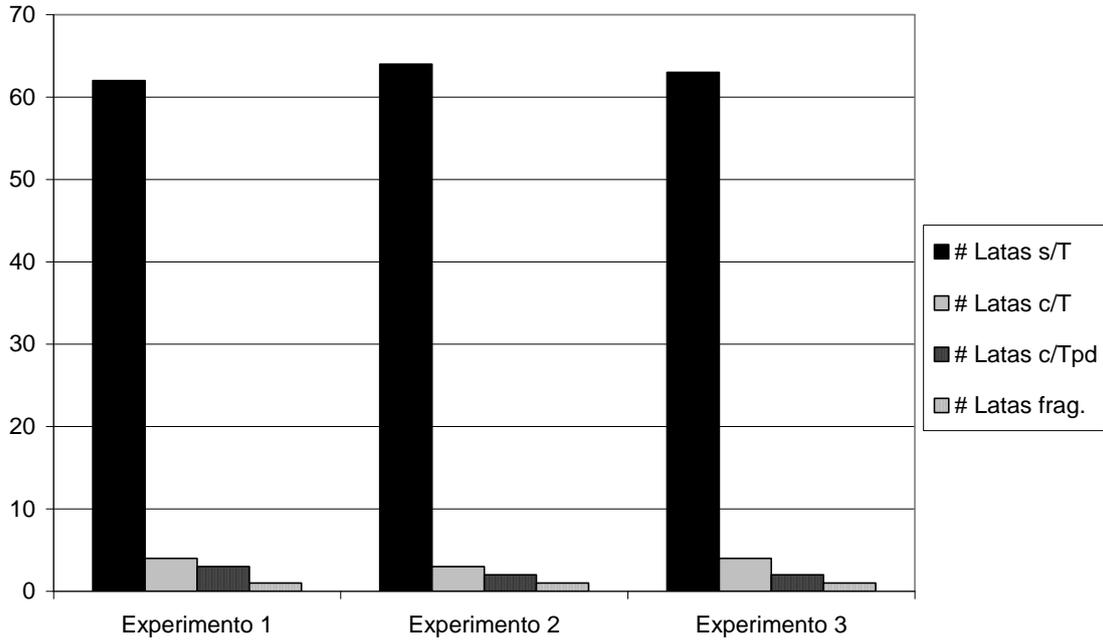
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 60 segundos, y termina en 360, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.16 Historial para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.

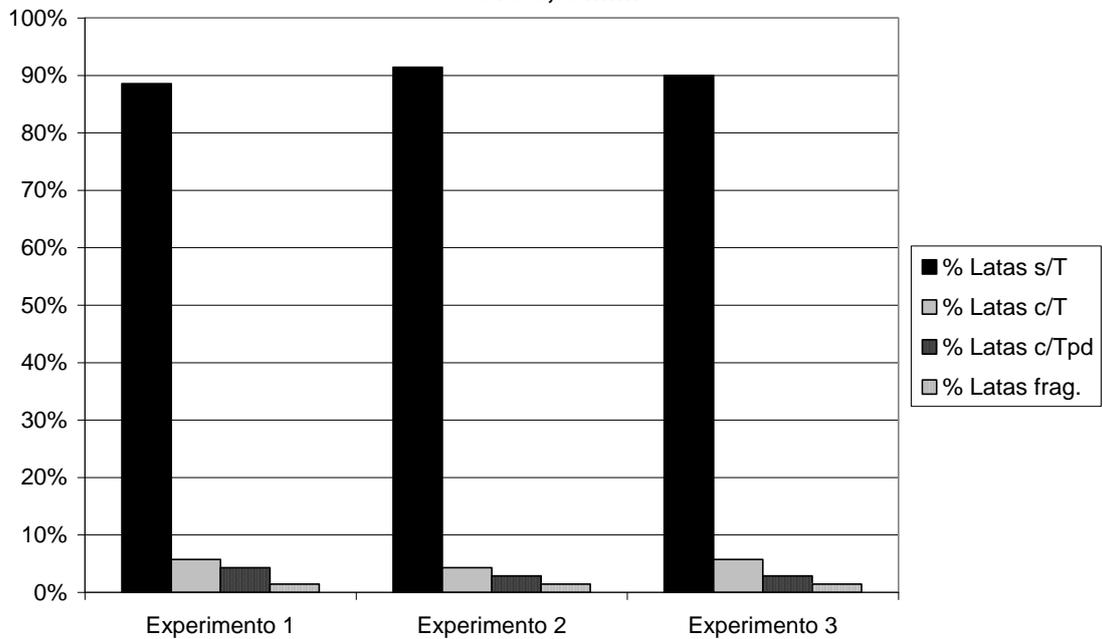


Los histogramas de resultados con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.17 y 6.18, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.17 Histograma de resultados en número, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



Gráfica 6.18 Histograma de resultados en porcentaje, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



La tabla 6.6 presenta los resultados de experimentos con 70 latas, Temp. 536-544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 5 minutos de prueba.

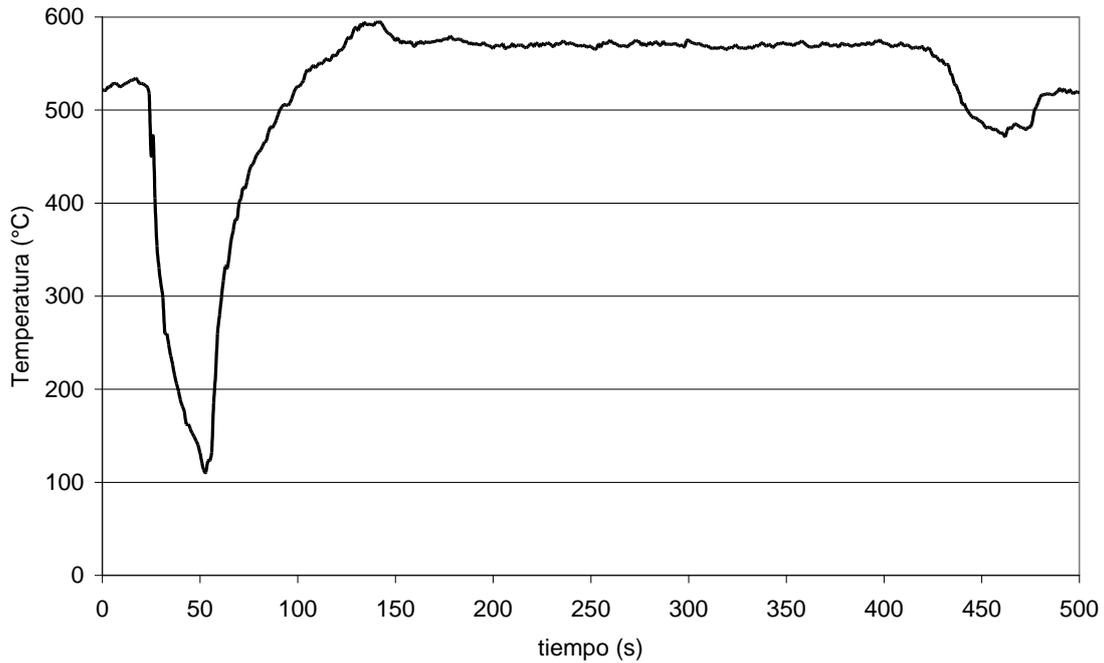
Tabla 6.6 Resultados de 70 latas, Temp. 536- 544 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	62	4	3	1
2	64	3	2	1
3	63	4	2	1
Promedio.	63	3.67	2.34	1
% (Prom.)	91.91	5.24	2.38	0.48

Estas pruebas se repitieron en el mismo orden, pero ahora aumentando un minuto al tiempo de permanencia de la carga en el horno rotatorio.

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.19 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

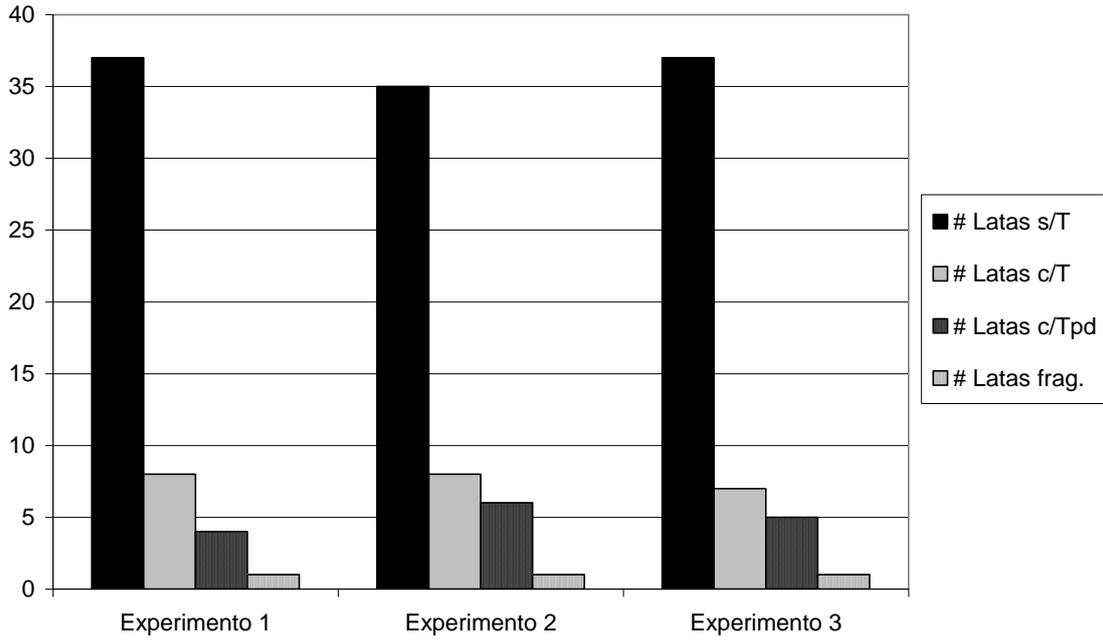
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 410, antes de descargar el horno, lo que hace una diferencia de 360 segundos o 6 minutos.

Gráfica 6.19 Historial para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.

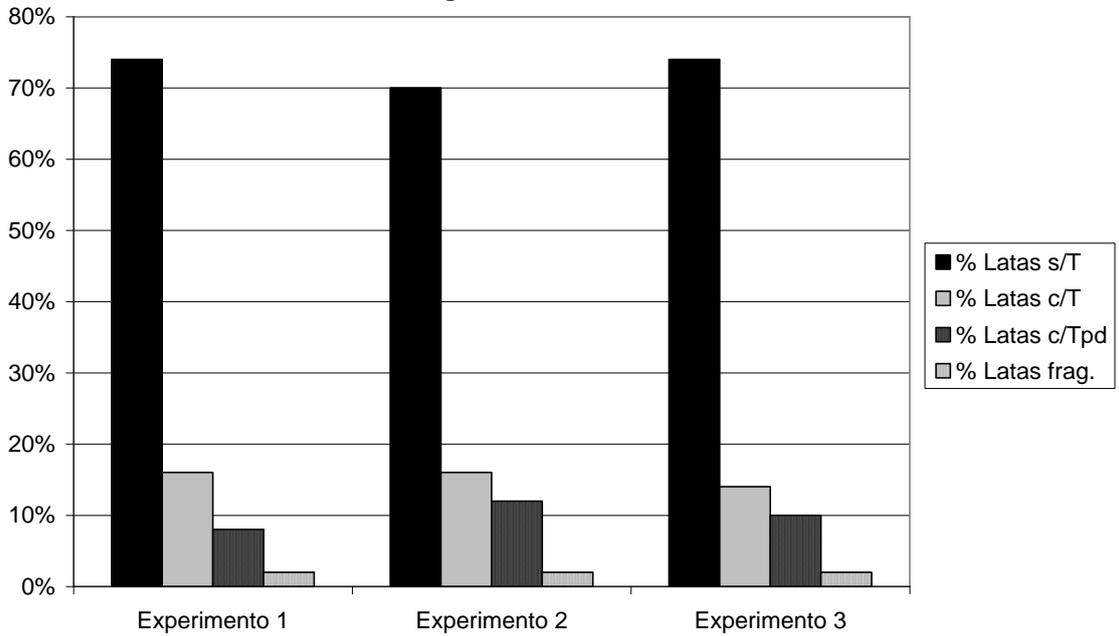


Los histogramas de resultados con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.20 y 6.21, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.20 Histograma de resultados en número, 50 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



Gráfica 6.21 Histograma de resultados en porcentaje, 50 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



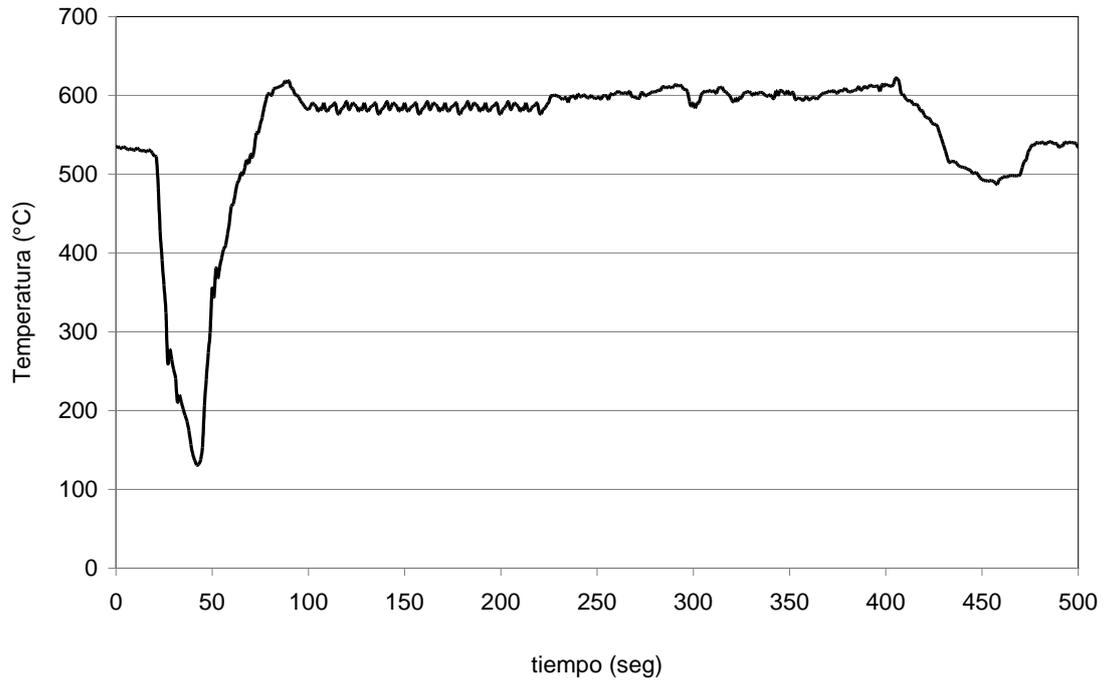
La tabla 6.7 presenta los resultados de experimentos con 50 latas, Temp. 520-530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba.

Tabla 6.7 Resultados de 50 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	37	8	4	1
2	35	8	6	1
3	37	7	5	1
Promedio.	36.34	7.67	5	1
% (Prom.)	72.67	15.34	10	2

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.22 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

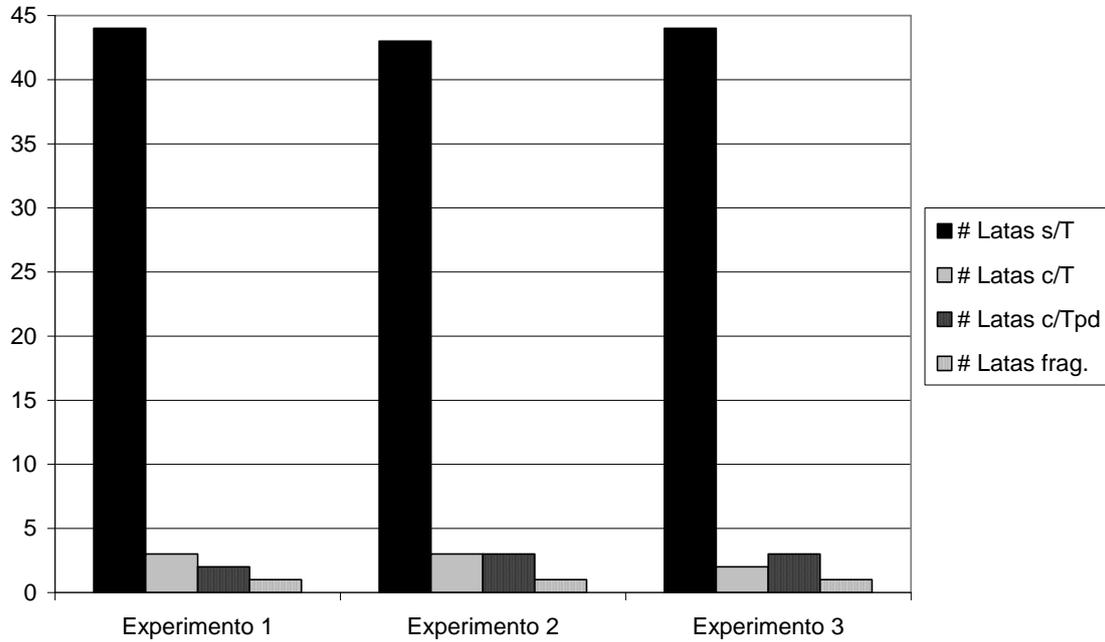
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 40 segundos, y termina en 400, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.22 Historial para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.

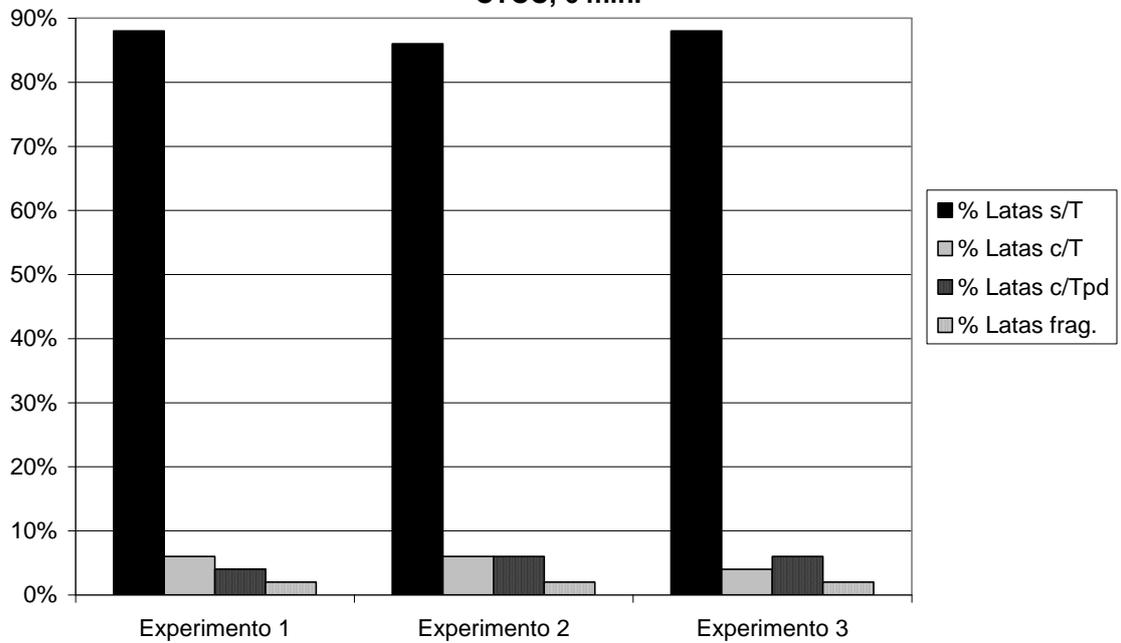


Los histogramas de resultados con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.23 y 6.24, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.23 Histograma de resultados en número, 50 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



Gráfica 6.24 Histograma de resultados en porcentaje, 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



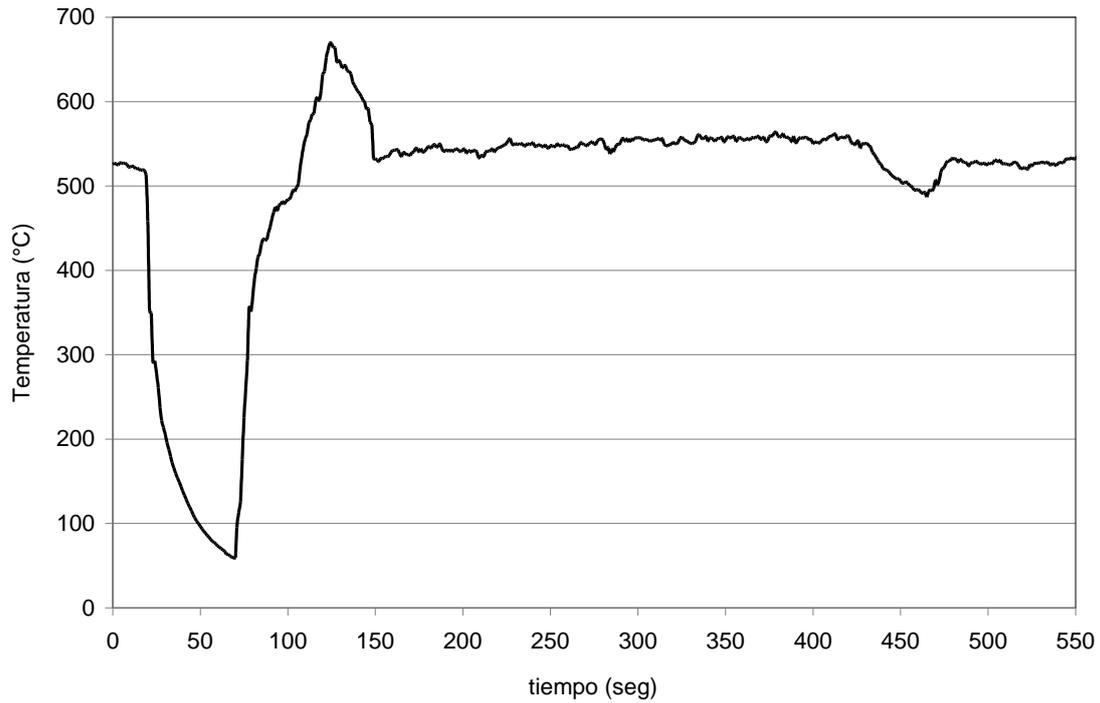
La tabla 6.8 presenta los resultados de experimentos con 50 latas, Temp. 520-530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba.

Tabla 6.8 Resultados de 50 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	46	2	1	1
2	48	1	1	0
3	47	1	1	1
Promedio.	47	1.34	1	0.67
% (Prom.)	94	2.67	2	1.34

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.25 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

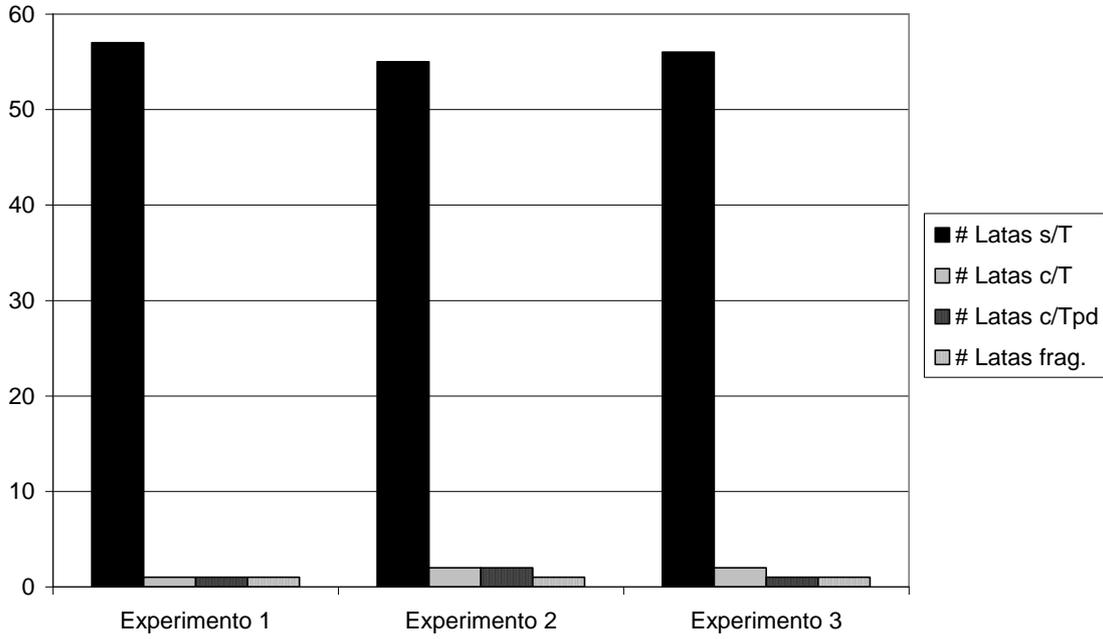
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 410, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.25 Historial para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.

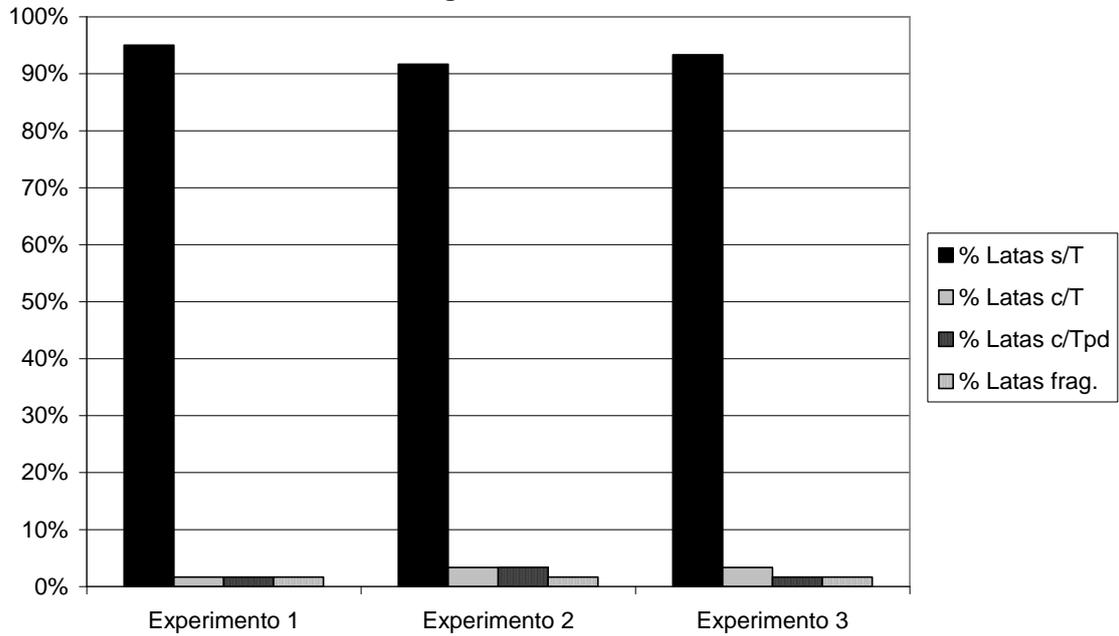


Los histogramas de resultados con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.26 y 6.27, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.26 Histograma de resultados en número, 60 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



Gráfica 6.27 Histograma de resultados en porcentaje, 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



La tabla 6.9 presenta los resultados de experimentos con 60 latas, Temp. 520-530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba.

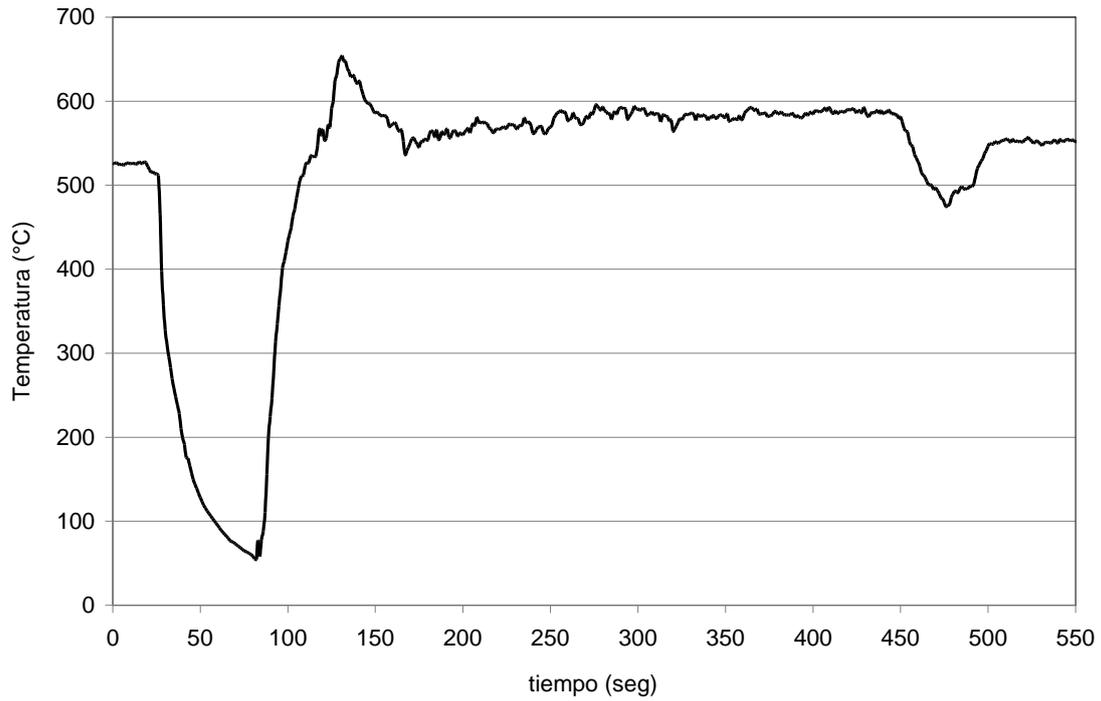
Tabla 6.9 Resultados de 60 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	57	1	1	1
2	55	2	2	1
3	56	2	1	1
Promedio.	56	1.67	1.34	1
% (Prom.)	93.34	2.78	2.23	1.67

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.28 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 50 segundos, y termina en 410, antes de descargar el horno.

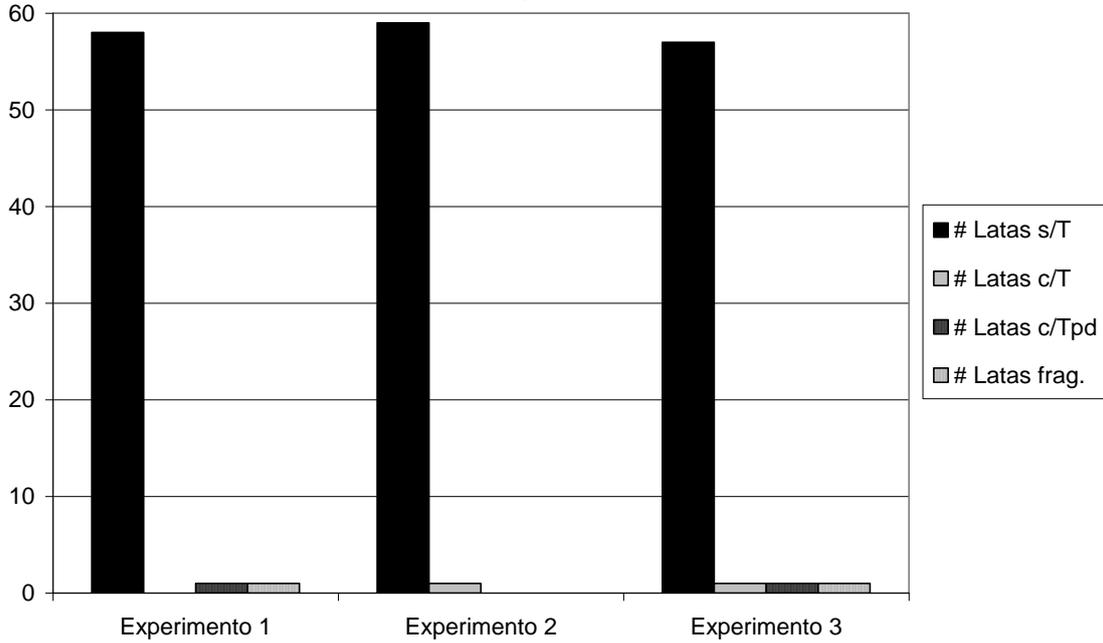
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 80 segundos, y termina en 440, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.28 Historial para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.

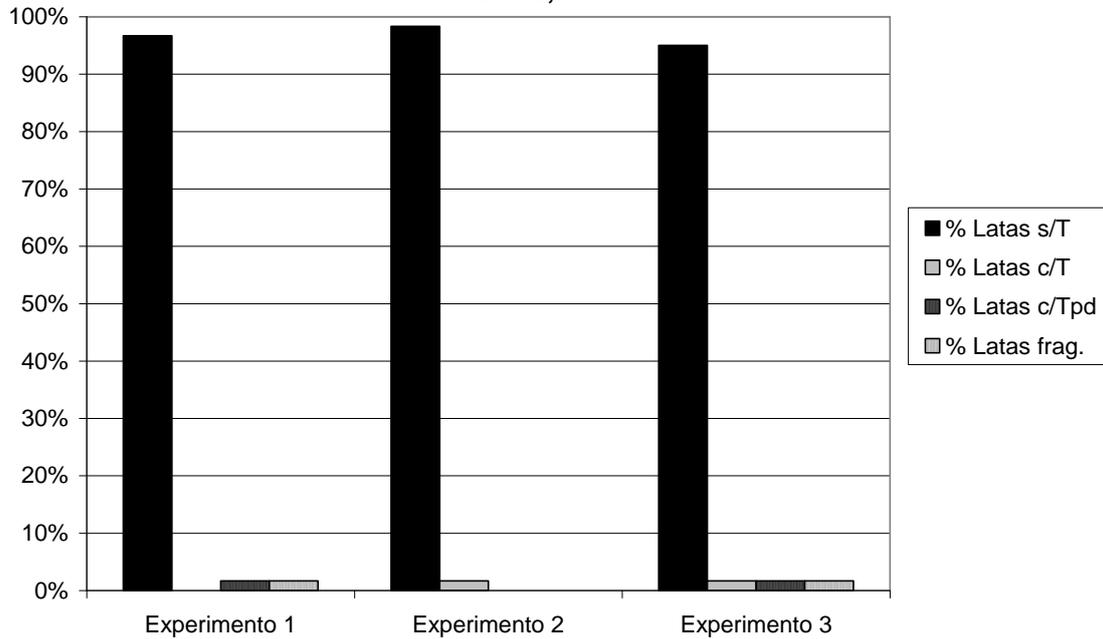


Los histogramas de resultados con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.29 y 6.30, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.29 Histograma de resultados en número, 60 latas, Temp. 520-530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



Gráfica 6.30 Histograma de resultados en porcentaje, 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



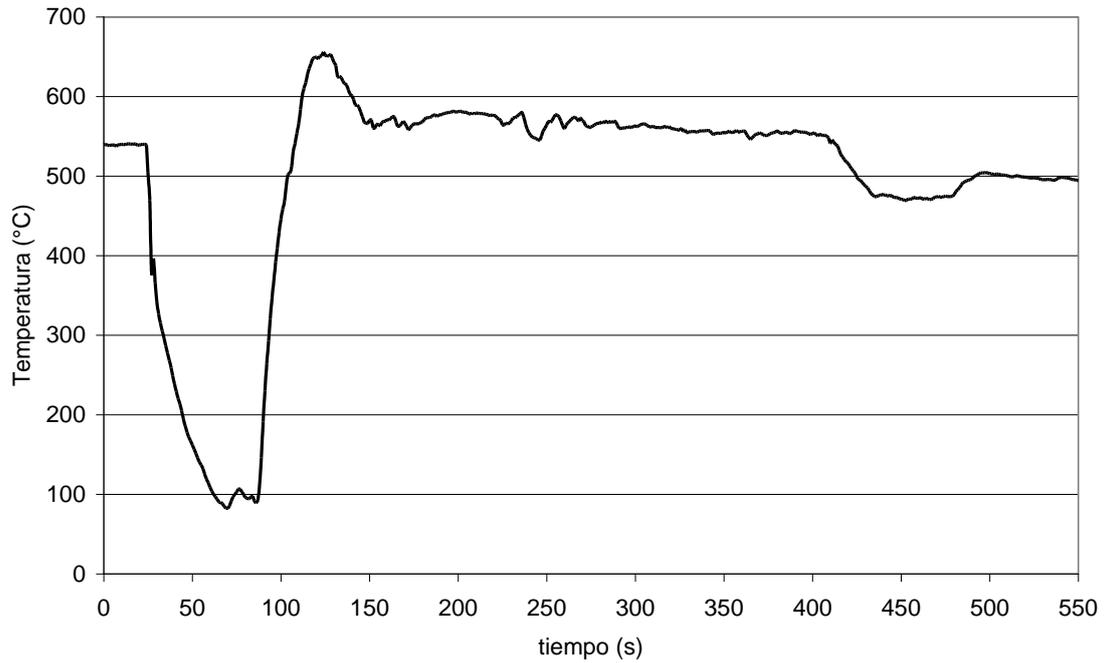
La tabla 6.10 presenta los resultados de experimentos con 60 latas, Temp. 520-530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba.

Tabla 6.10 Resultados de 60 latas, Temp. 520- 530 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	58	0	1	1
2	59	1	0	0
3	57	1	1	1
Promedio.	58	0.67	0.67	0.67
% (Prom.)	96.67	1.12	1.12	1.12

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 6.31 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

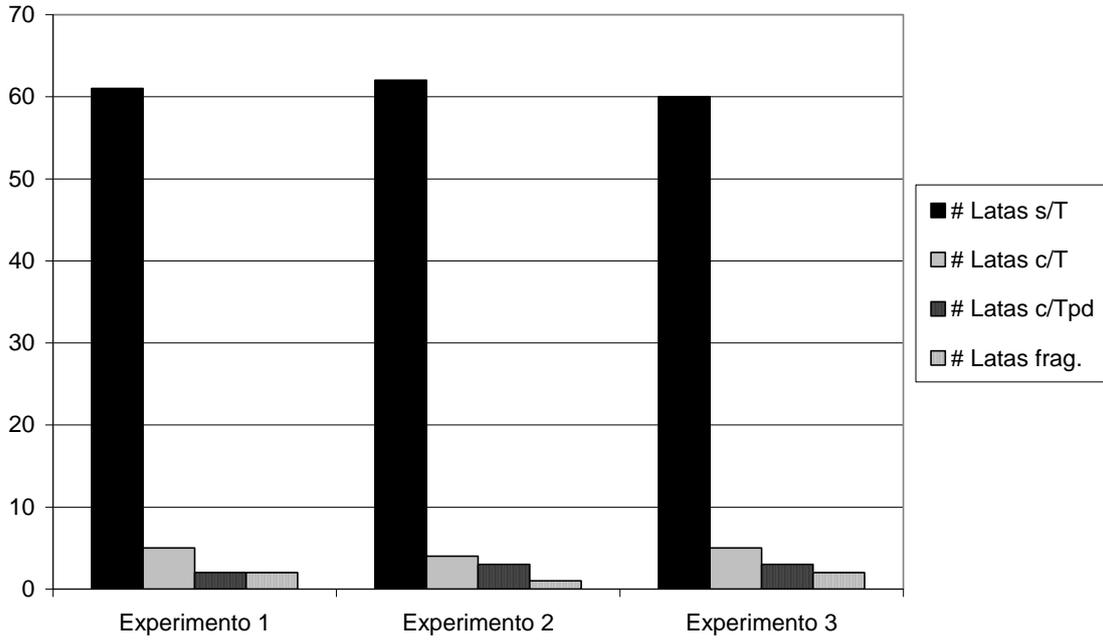
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 60 segundos, y termina en 400, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.31 Historial para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.

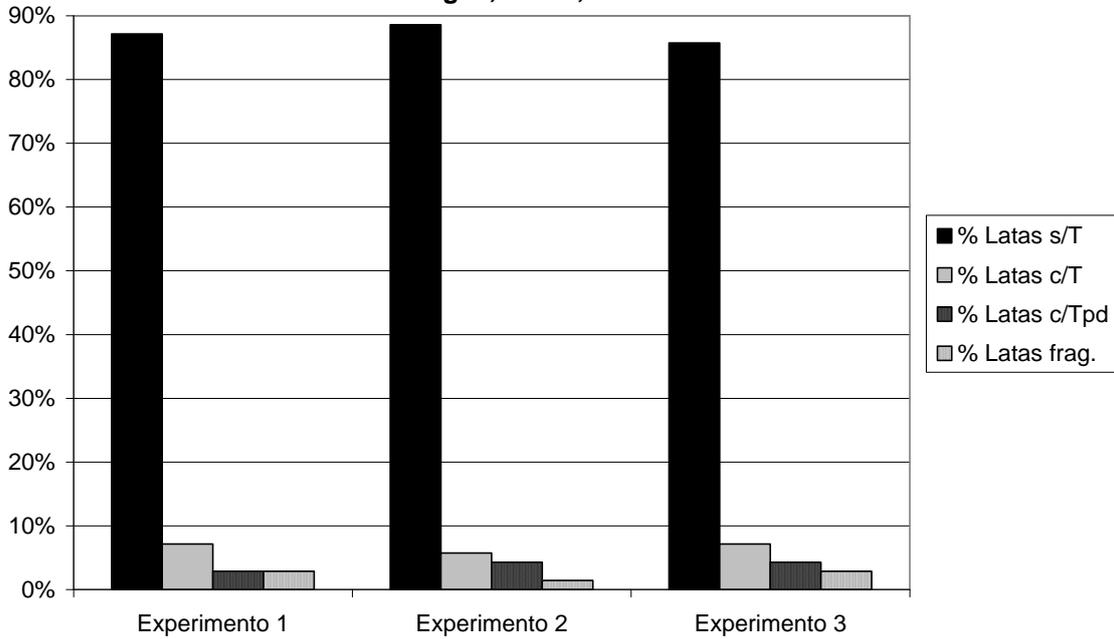


Los histogramas de resultados con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.32 y 6.33, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.32 Histograma de resultados en número, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



Gráfica 6.33 Histograma de resultados en porcentaje, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



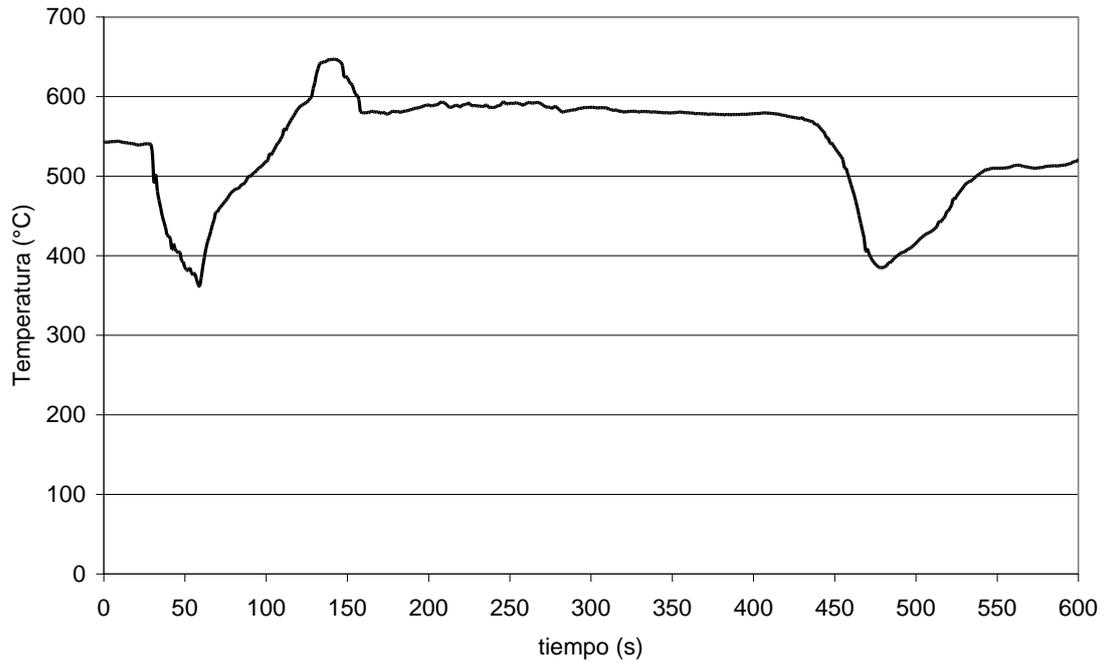
La tabla 6.11 presenta los resultados de experimentos con 70 latas, Temp. 536-544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, y 6 minutos de prueba.

Tabla 6.11 Resultados de 70 latas, Temp. 536- 544 °C. , con termopar y sin modificación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	61	5	2	2
2	62	4	3	1
3	60	5	3	2
Promedio.	61	4.67	2.67	1.67
% (Prom.)	87.14	6.67	3.81	2.38

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 6.34 muestra la historia térmica para un tiempo de prueba de 6 minutos.

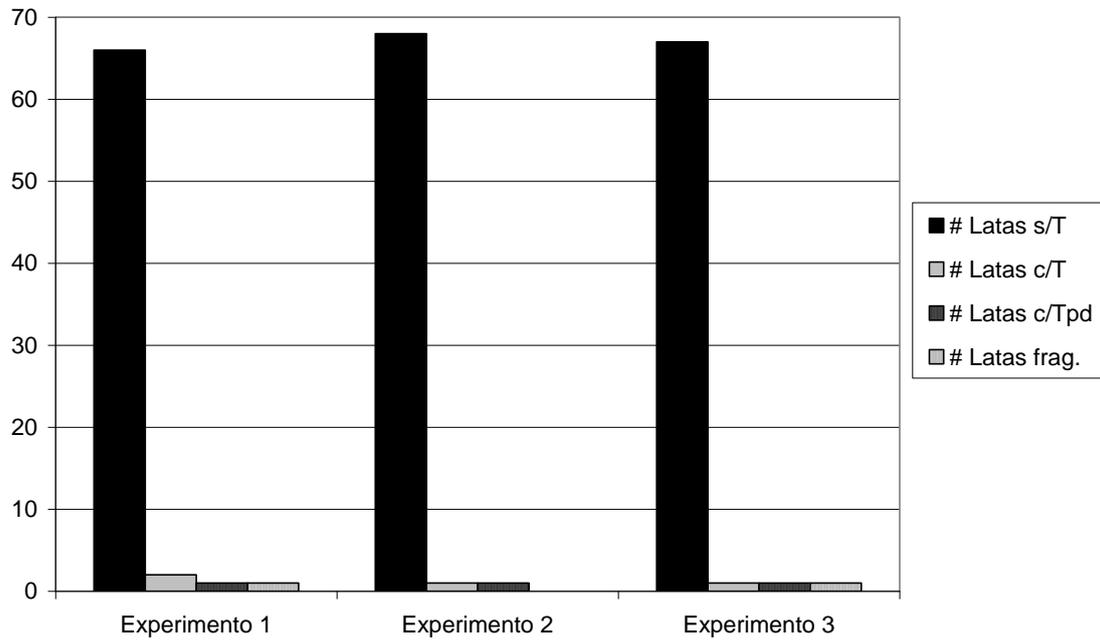
El tiempo de residencia inicia aproximadamente en 80 segundos, y termina en 440, antes de descargar el horno.

Gráfica 6.34 Historial para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.

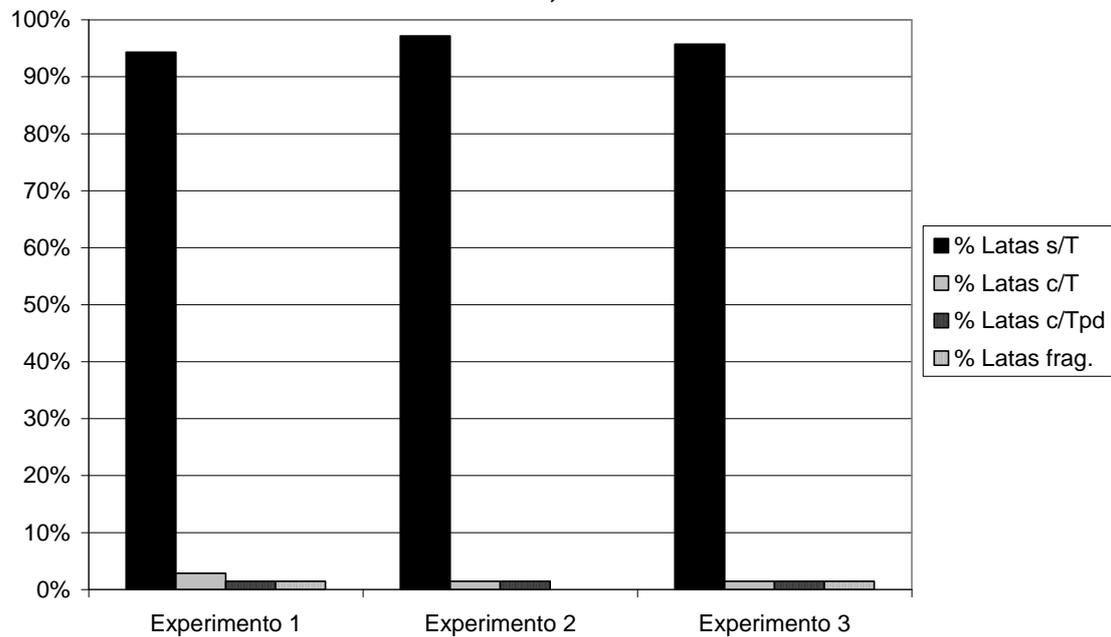


Los histogramas de resultados con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba, se presentan en las gráficas 6.35 y 6.36, tanto numéricos como en porcentaje, respectivamente.

Gráfica 6.35 Histograma de resultados en número, 70 latas, Temp. 536-544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



Gráfica 6.36 Histograma de resultados en porcentaje, 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



La tabla 6.12 presenta los resultados de experimentos con 70 latas, Temp. 536-544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, y 6 minutos de prueba.

Tabla 6.12 Resultados de 70 latas, Temp. 536- 544 °C. , con termopar y modificación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.				
Corrida	S/T	C/T	C/Tpd	Destrozada.
1	66	2	1	1
2	68	1	1	0
3	67	1	1	1
Promedio.	67	1.34	1	0.67
% (Prom.)	95.72	1.90	1.43	0.96

Capítulo 7. Análisis de resultados.

De acuerdo a los resultados, con respecto a 50 latas de carga y 5 minutos de prueba, se observa que sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, se obtienen en promedio, 3.67 latas sin tapa y 44 con tapa, si se observa el porcentaje promedio se tienen 7.34% sin tapa y 88% con tapa. Esto quiere decir que estas condiciones no son buenas para realizar una separación de cuerpo y tapa efectiva, debido a que la carga es insuficiente y al introducirse al horno el calentamiento no es uniforme y no es tan rápido, además de que el golpeteo de latas disminuye drásticamente por la reducida cantidad de latas.

Con 50 latas y 5 minutos, modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se obtiene en este caso, en promedio 40.67 latas sin tapa y 5.34 botes con tapa, y en porcentaje promedio 81.34% s/T y 10.67% c/T, respectivamente. Esto demuestra que el control manual de flujos de aire y/o gas, para elevar la temperatura y mantenerla dentro del intervalo de fusión de la tapa para que ésta se fragilice y pueda desprenderse del cuerpo, aumenta significativamente la eficiencia en la separación de cuerpo y tapa.

Ahora para 60 latas, con tiempo de 5 minutos y sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, los datos muestran 50.67 latas s/T y 7.67 c/T en promedio, y en porcentaje promedio 84.45% s/T y 12.78% c/T.

En el caso de 60 latas con 5 minutos, ahora modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, en promedio se obtienen 55 latas s/T y 2.67 c/T y en porcentaje promedio 91.67%

s/T y 4.45% c/T, respectivamente. El aumento de carga influye positivamente en la separación de cuerpo y tapa, puesto que con 60 latas se logra una mejor eficiencia que con 50, sin manipulación de flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, se aumentó el promedio de 3.67 latas s/T de 50, a 50.67 de 60, en porcentaje promedio de 7.34% s/T con 50 latas a 84.45% s/T de 60. Alterando los flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se incrementó el promedio de 40.67 s/T de 50 latas a 55 botes s/T de 60, y de 81.34% s/T con 50 latas a 91.67% s/T con 60 latas en porcentaje promedio.

Ahora con 70 latas, 5 minutos y sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, se obtuvieron en promedio 49 botes s/T y 13 c/T, y en porcentaje promedio 70% s/T y 18.57% c/T, respectivamente.

Con 70 latas, 5 minutos y ahora modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se muestran en promedio 63 latas s/T y 3.67 c/T, y en porcentaje promedio 91.91% botes s/T y 5.24% c/T.

En el caso de 70 latas con 5 minutos, sin manipulación de flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, los resultados de 49 botes s/T, y 70% s/T de porcentaje promedio, comparados con las mismas condiciones de 50 latas, que son, en promedio 3.67 s/T y porcentaje promedio 7.34% s/T, y 60 latas con 50.67 s/T en promedio y 84.45% s/T en porcentaje promedio, muestran que la mayor eficiencia se obtiene con 60 botes, y disminuye con 70, formando un pico con 60 latas, debido a que al aumentar la carga el calentamiento es más homogéneo y más rápido, aunado

al mayor golpeteo entre botes, pero con 70, disminuye el golpeteo al reducir el espacio del horno rotatorio, esto se puede nombrar como carga ideal de trabajo, en este caso, 60 botes.

Con 70 latas 5 minutos y ahora modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se obtienen 63 botes s/T en promedio, y 91.91% s/T en porcentaje promedio, con respecto a las mismas condiciones, con 50 latas resultaron 40.67 s/T en promedio y 81.34% en porcentaje promedio, y para 60 latas con promedio de 55 s/T y 91.67% de porcentaje promedio, al comparar se observa la misma tendencia que sin alterar flujos, CTSC, pero 60 y 70 latas tienen una eficiencia muy similar, siendo inferior la de 50 latas, así que se puede afirmar que con control de flujos de gas y/o aire, CTCC, se obtiene una eficiencia alta, aunque es preferible la carga de 70 latas, pues es la que proporciona un número mayor de botes s/T, con 63 en promedio.

La siguiente tabla muestra los resultados de los experimentos con 50, 60 y 70 botes de carga, específicamente del promedio y porcentaje promedio de botes sin tapa, siendo éste último la eficiencia, con 5 minutos de tiempo de prueba, sin manipulación de flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, y modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, para poder relacionar condiciones de operación y resultados que se pueden esperar.

Ahora, con respecto a 50 latas de carga y 6 minutos de prueba, se observa que sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, se obtienen en promedio, 36.34 latas sin tapa y 7.67 con tapa, si se observa el porcentaje promedio se tienen 72.67% sin tapa y 15.34% con tapa. El aumento de tiempo, en este caso 1 minuto, mejora considerablemente la separación de cuerpo y tapa, con respecto a las mismas condiciones de 5 minutos (3.67 latas sin tapa y 44 con tapa, con porcentaje promedio de 7.34% sin tapa y 88% con tapa), debido a que la permanencia de la carga en el horno es mayor, dando lugar a que el bote alcance una temperatura cercana al rango de fusión de la tapa, sin embargo, el golpeteo de los botes es mínimo, pues la carga es insuficiente.

Con 50 latas y 6 minutos, modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se obtiene en este caso, en promedio 47 latas sin tapa y 1.34 botes con tapa, y en porcentaje promedio 94% s/T y 2.67% c/T, respectivamente. Al comparar con las mismas condiciones con 5 minutos de prueba, se observan en promedio 40.67 latas sin tapa y 5.34 botes con tapa, y en porcentaje promedio 81.34% s/T y 10.67% c/T, respectivamente. De esta manera, el control manual de flujos de aire y/o gas, para elevar la temperatura y mantenerla dentro del intervalo de fusión de la tapa para que ésta se fragilice y pueda desprenderse del cuerpo, aunado al aumento de 1 minuto de tiempo de prueba hace un gran aumento de la eficiencia en la separación de cuerpo y tapa.

Ahora para 60 latas, con tiempo de 6 minutos y sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, los datos muestran 56 latas s/T y 1.67 c/T en promedio, y en porcentaje promedio 93.34% s/T y

2.78% c/T, al observar los resultados de las mismas condiciones con 5 minutos, que son 50.67 latas s/T y 7.67 c/T en promedio, y en porcentaje promedio 84.45% s/T y 12.78% c/T, se puede apreciar que la eficiencia aumenta, debido a que 1 minuto más de permanencia significa mayor fragmentación al mantener la carga en el rango de fusión de la tapa más tiempo y prolongar el golpeteo.

En el caso de 60 latas con 6 minutos, ahora modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, en promedio se obtienen 58 latas s/T y 0.67 c/T y en porcentaje promedio 96.67% s/T y 1.12% c/T, respectivamente. En las mismas condiciones, pero con 5 minutos los resultados muestran en promedio 55 latas s/T y 2.67 c/T y en porcentaje promedio 91.67% s/T y 4.45% c/T, respectivamente. Esto confirma que el aumento de 1 minuto de prueba implica un aumento significativo en la eficiencia sin que represente un elevado gasto adicional de gas.

Comparando 50 y 60 latas de carga con 5 y 6 minutos de prueba, la mayor eficiencia para separar cuerpo y tapa se logra con 60 latas y 6 minutos con manipulación de flujos, CTCC, puesto que resultó de 96.67%.

Mayor que la de 50 latas con 5 minutos sin manipulación de flujos, CTSC, 7.34%, con manipulación de flujos, CTCC, 81.34%, 50 latas con 6 minutos, sin manipular flujos, CTSC, 72.67%, manipulando flujos, CTCC, 94%, 60 latas con 5 minutos sin manipulación de flujos, CTSC, 84.45%, con manipulación de flujos, CTCC, 93.34%, 60 latas con 6 minutos, sin manipular flujos, CTSC, 91.67%, y manipulando flujos, CTCC, 96.67%.

Ahora con 70 latas, 6 minutos y sin alterar flujos de aire y/o de gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, se obtuvieron en promedio

61 botes s/T y 4.67 c/T, y en porcentaje promedio 87.14% s/T y 6.67% c/T, respectivamente, en tanto que en las mismas condiciones, pero con 5 minutos los resultados fueron en promedio 49 botes s/T y 13 c/T, y en porcentaje promedio 70% s/T y 18.57% c/T, respectivamente.

Con 70 latas, 6 minutos y ahora modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, se obtienen en promedio 67 latas s/T y 1.34 c/T, y en porcentaje promedio 95.72% botes s/T y 1.90% c/T, en las mismas condiciones, pero con 5 minutos los resultados son de 63 latas s/T y 3.67 c/T en promedio, y en porcentaje promedio 91.91% botes s/T y 5.24% c/T.

Al comparar la eficiencia obtenida con cargas de 50, 60 y 70 latas, con tiempos de 5 y 6 minutos, y que se presentan a continuación:

50 latas con 5 minutos sin manipulación de flujos, CTSC, 7.34%, con manipulación de flujos, CTCC, 81.34%, 50 latas con 6 minutos, sin manipular flujos, CTSC, 72.67%, manipulando flujos, CTCC, 94%, 60 latas con 5 minutos sin manipulación de flujos, CTSC, 84.45%, con manipulación de flujos, CTCC, 93.34%, 60 latas con 6 minutos, sin manipular flujos, CTSC, 91.67%, y manipulando flujos, CTCC, 96.67%, 70 latas con 5 minutos sin manipulación de flujos, CTSC, 70%, con manipulación de flujos, CTCC, 91.91%, 70 latas con 6 minutos, sin manipular flujos, CTSC, 87.14%, y manipulando flujos, CTCC, 95.72%, se puede afirmar que las mejores condiciones de operación del horno rotatorio son:

Con cargas de 50 latas, manipular flujos, CTCC, con 5 y 6 minutos, para 60 botes cualquier condición es aceptable, siendo la opción más recomendable 6

minutos con manipulación de flujos, CTCC, y para 70 latas es mejor manipular flujos, CTCC, con 5 y 6 minutos. La mayor eficiencia obtenida es con 60 latas y con 6 minutos, con manipulación de flujos, CTCC, pero en las mismas condiciones con 70 botes el número de cuerpo sin tapa es mayor.

La siguiente tabla muestra los resultados de los experimentos con 50, 60 y 70 botes de carga, específicamente del promedio y porcentaje promedio de botes sin tapa, siendo éste último la eficiencia, con 6 minutos de tiempo de prueba, sin manipulación de flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante la prueba, CTSC, y modificando manualmente flujos de aire y/o gas, para controlar la temperatura durante la prueba, CTCC, para poder relacionar condiciones de operación y resultados que se pueden esperar.

En estos datos no se mencionan las latas con tapa parcialmente desprendida y destrozadas puesto que se presentan en cualquier condición debido al funcionamiento del horno, y no representan un problema siempre que se mantengan en baja proporción, como en las mejores condiciones.

En cuanto a la historia térmica y control de temperatura se deben mencionar las principales etapas en las que se puede dividir una prueba, y mostrar puntos de interés como son:

- I. inicio, se debe alcanzar la temperatura de entrada seleccionada, revisando que los termopares, el adquisidor y la computadora estén correctamente conectados y que midan y registren adecuadamente la temperatura,
- II. carga de bote, para ello se debe retirar el termopar, introducir la carga al horno y reintroducir el termopar. Se debe tener especial cuidado de no doblar ni dañar el termopar, y que se coloque en la posición correcta,
- III. formación de un pico de temperatura máxima,
- IV. descenso de la temperatura máxima, en el caso de no alterar manualmente flujos de gas y/o aire para modificar la temperatura durante la prueba, CTSC, la temperatura se estabiliza y se forma una meseta, y es en este punto, cuando empieza a formarse dicha meseta, donde en el caso de manipular los flujos de gas y/o aire se eleva la temperatura de la meseta controladamente durante la prueba, CTCC,
- V. descarga, es necesario abrir la compuerta y elevar el horno rotatorio, colocando un recipiente para recibir la carga, la cual sale caliente, una vez que se recupera todo el material, el horno se coloca en la posición de trabajo y se prepara para un nuevo experimento, y una vez que la carga se enfría se procede a su evaluación.

Es necesario explicar que el pico de temperatura, o temperatura máxima, se debe a la combustión de los recubrimientos del bote y eleva la temperatura al intervalo dentro del cual la tapa presenta fusiones parciales y se fragiliza.

Se presentan la historia térmica y etapas de las pruebas realizadas con cargas de 50, 60 y 70 latas, y con un tiempo de permanencia de la carga en el horno rotatorio de 5 minutos en la primera etapa, sin alterar flujos de aire y/o gas durante la prueba, CTSC, y manipulando flujos para elevar la temperatura de la meseta, CTCC.

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.1 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

Con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.2 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.3 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

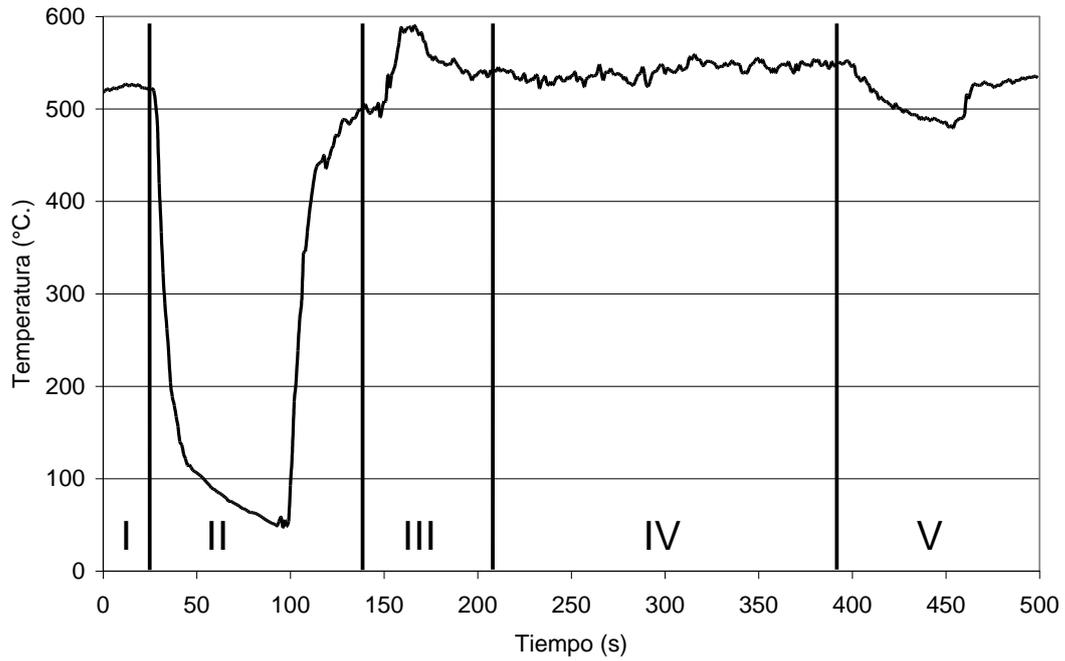
Con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.4 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.5 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

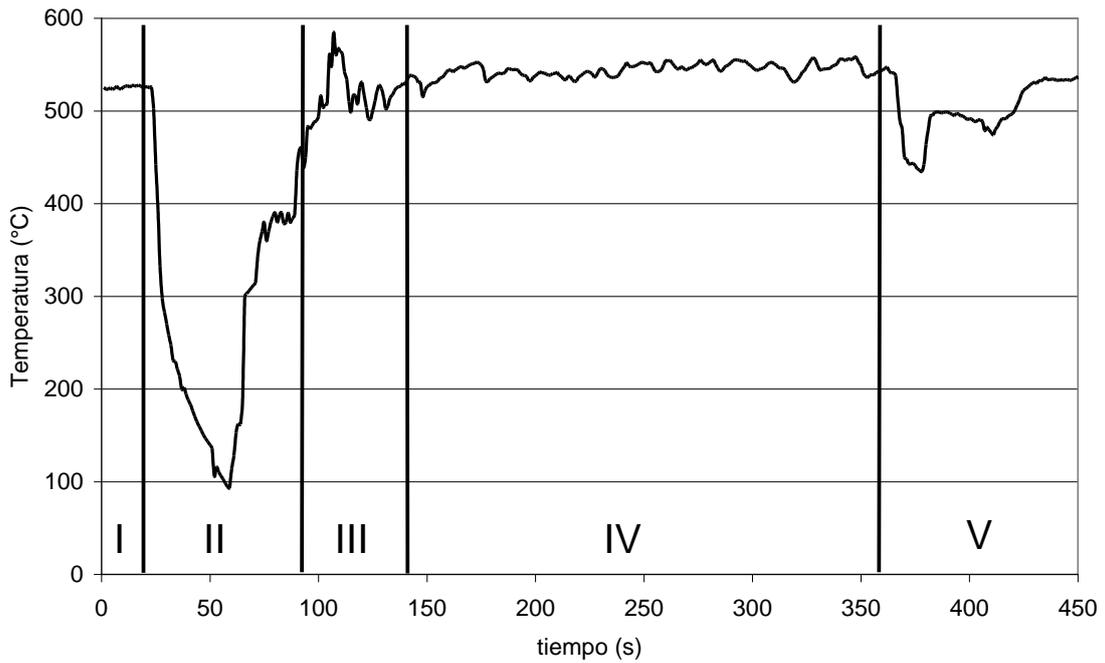
Con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.6 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 5 minutos.

Las gráficas 7.1 a 7.6 se presentan de tal modo que pueda hacerse una comparación entre condiciones CTSC y CTCC.

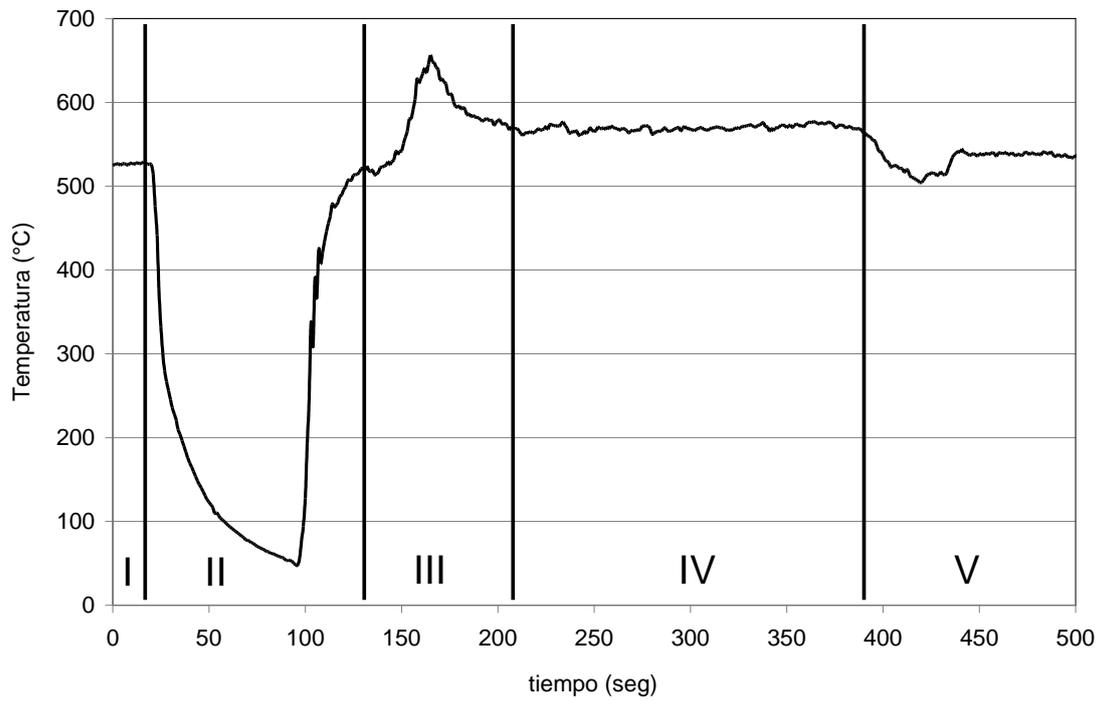
Gráfica 7.1 Historial y etapas para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



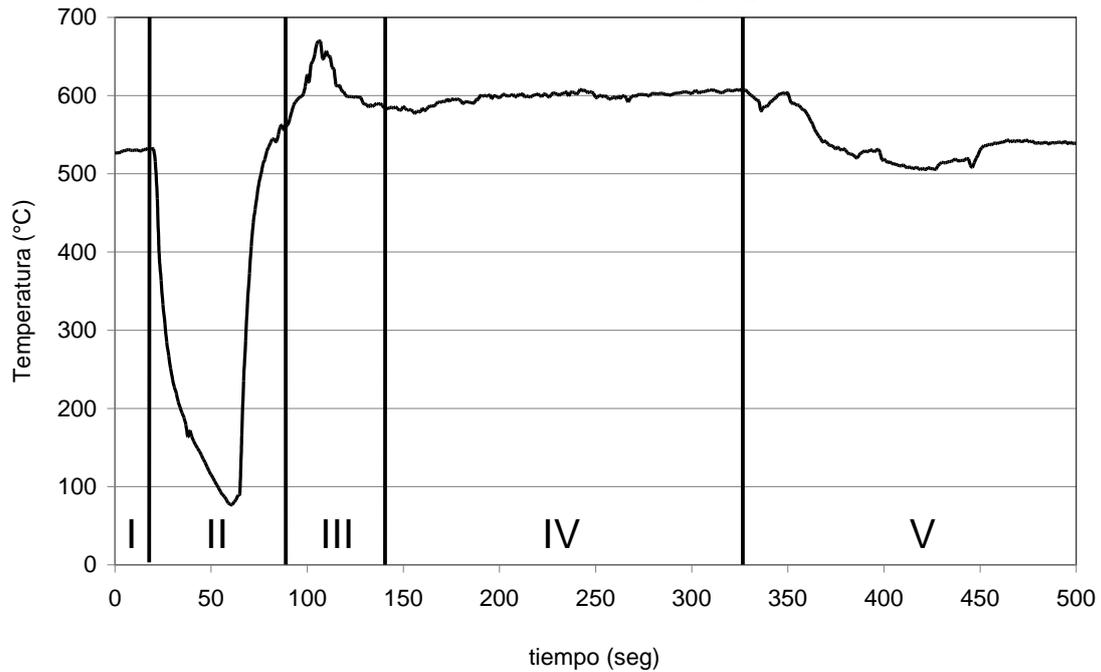
Gráfica 7.2 Historial y etapas para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



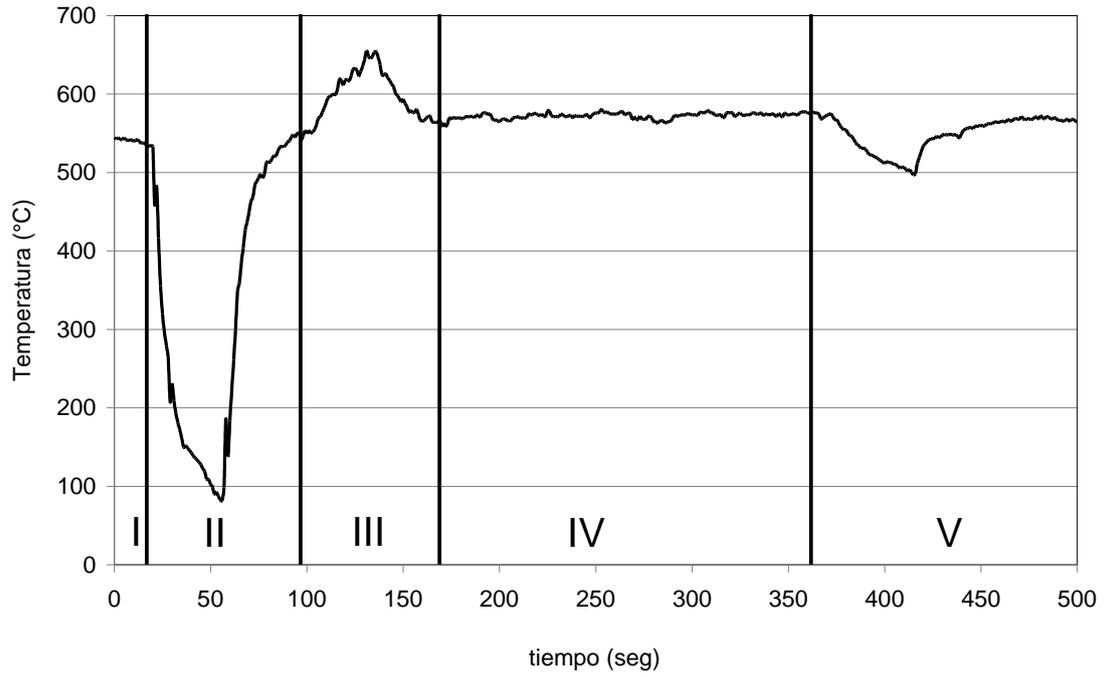
Gráfica 7.3 Historial y etapas para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



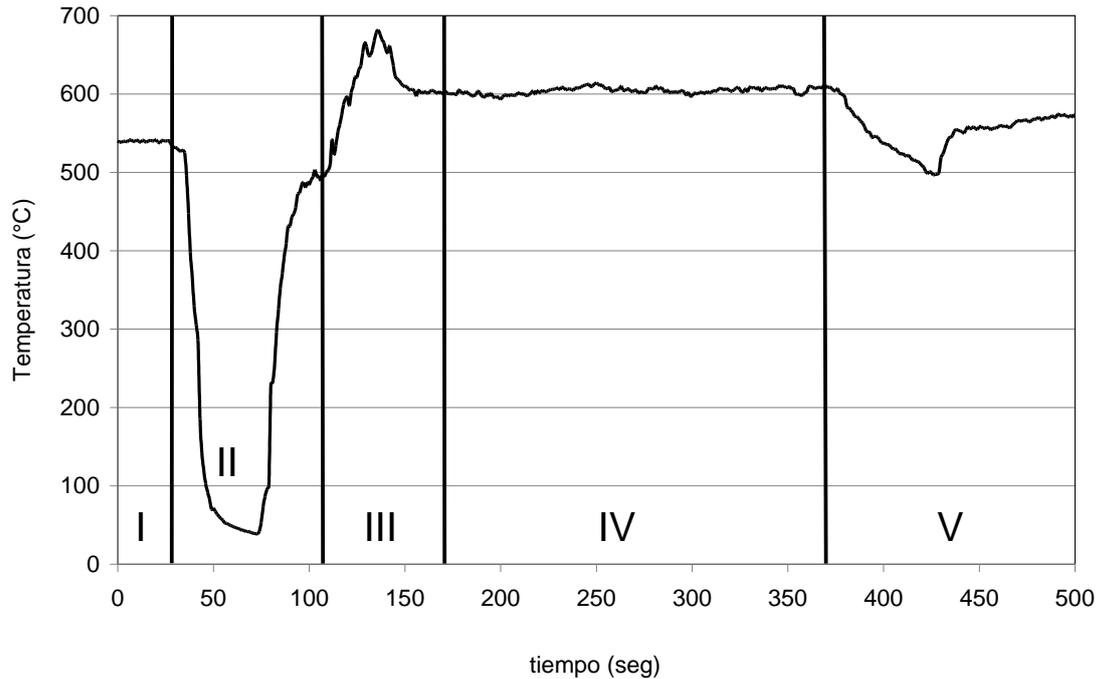
Gráfica 7.4 Historial y etapas para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



Gráfica 7.5 Historial y etapas para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 5 min.



Gráfica 7.6 Historial y etapas para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 5 min.



A continuación se presentan resultados las pruebas donde se aumentó un minuto al tiempo de permanencia de la carga en el horno rotatorio, en la segunda etapa.

Para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.7 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

Con 50 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.8 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

Para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.9 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

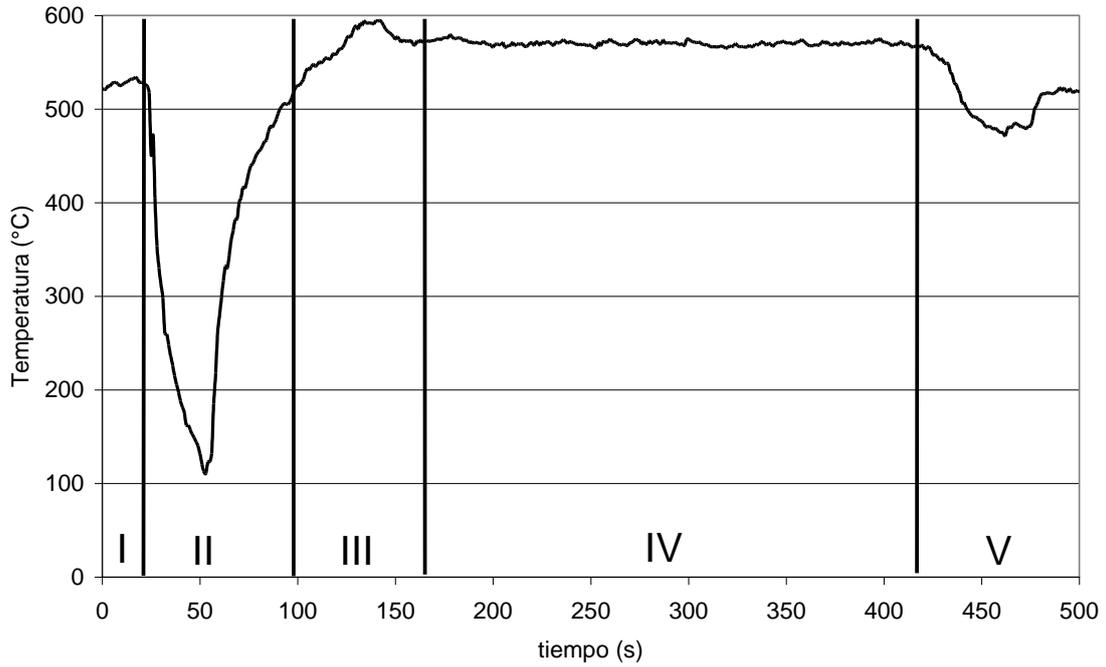
Con 60 latas, Temp. 520- 530 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.10 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

Para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., sin manipular flujos de aire y/o gas y sin alterar la temperatura durante el experimento, CTSC, la gráfica 7.11 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

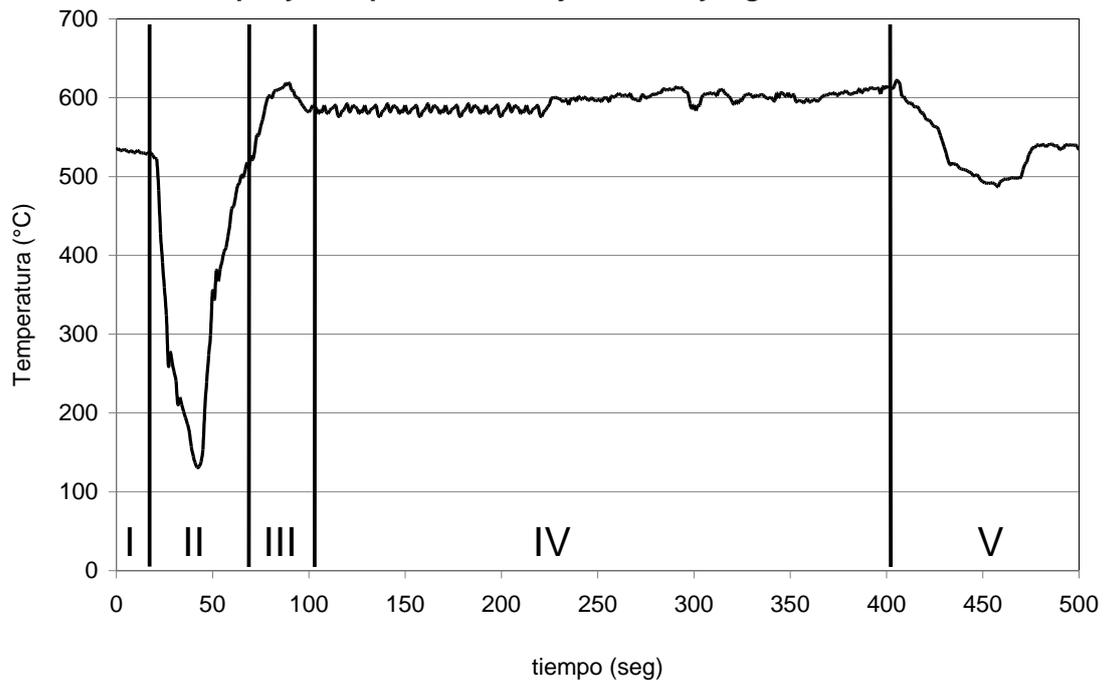
Con 70 latas, Temp. 536- 544 °C., manipulando flujos de aire y/o gas para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC, la gráfica 7.12 muestra la historia térmica y etapas para un tiempo de prueba de 6 minutos.

Las gráficas 7.7 a 7.12 se presentan de tal modo que pueda hacerse una comparación entre condiciones CTSC y CTCC.

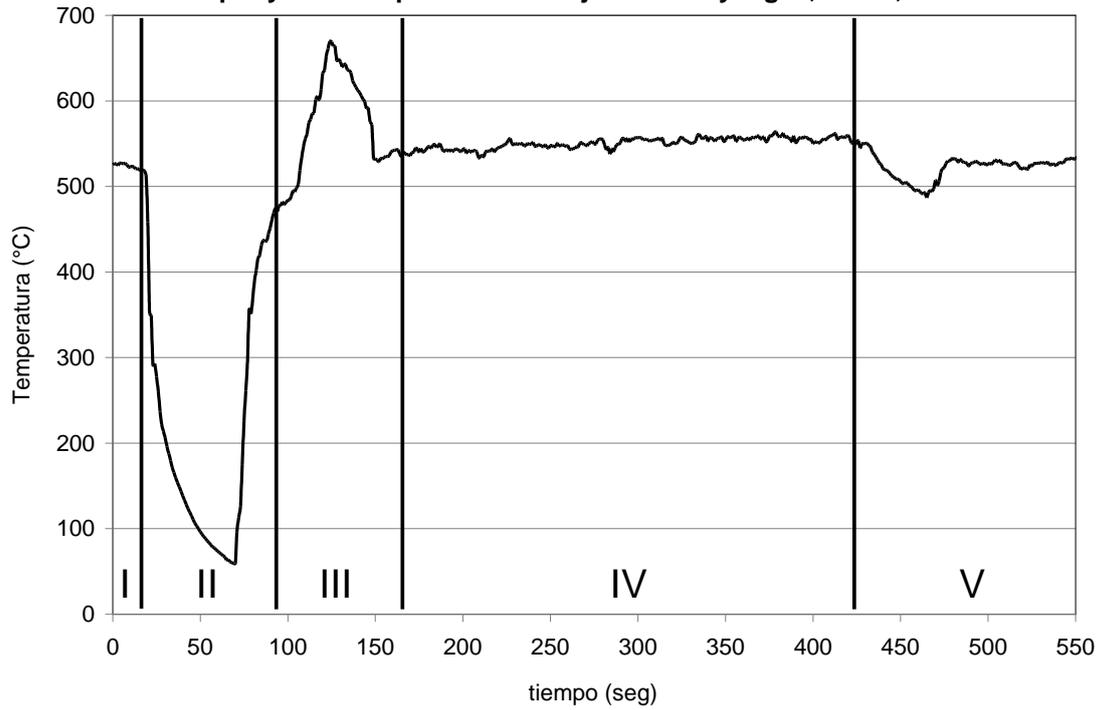
Gráfica 7.7 Historial y etapas para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



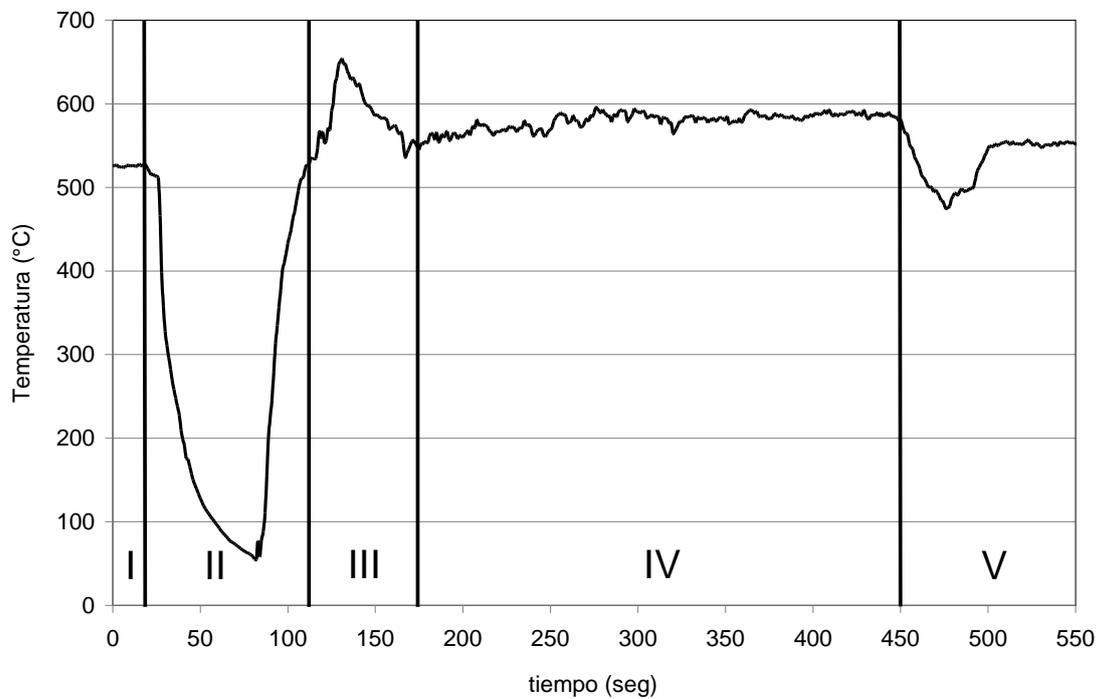
Gráfica 7.8 Historial y etapas para 50 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



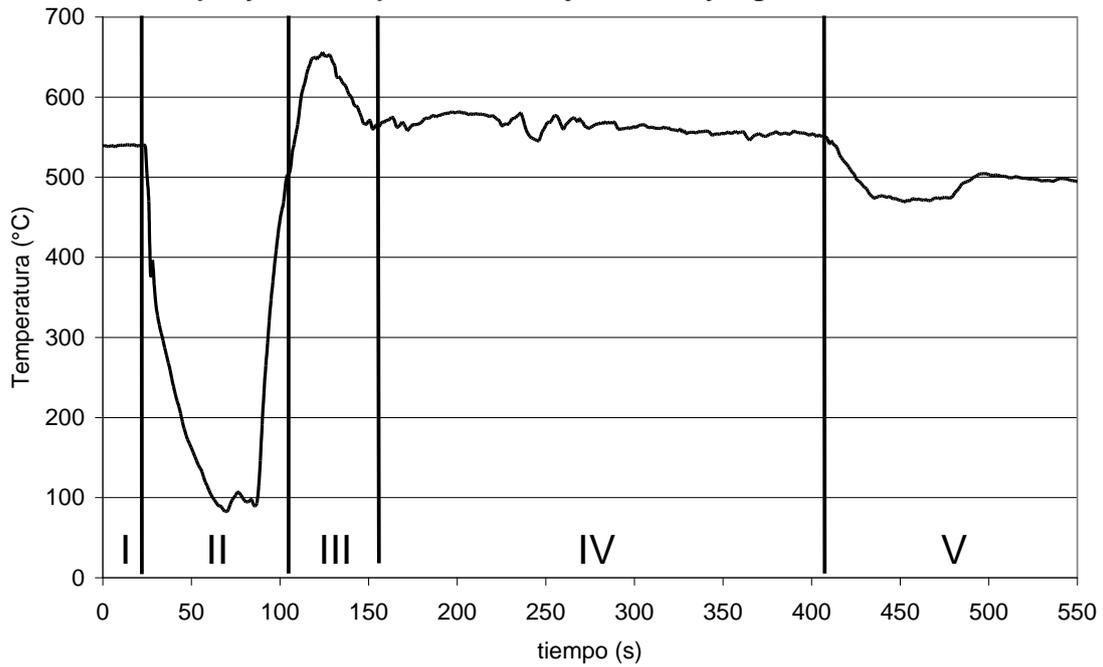
Gráfica 7.9 Historial y etapas para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



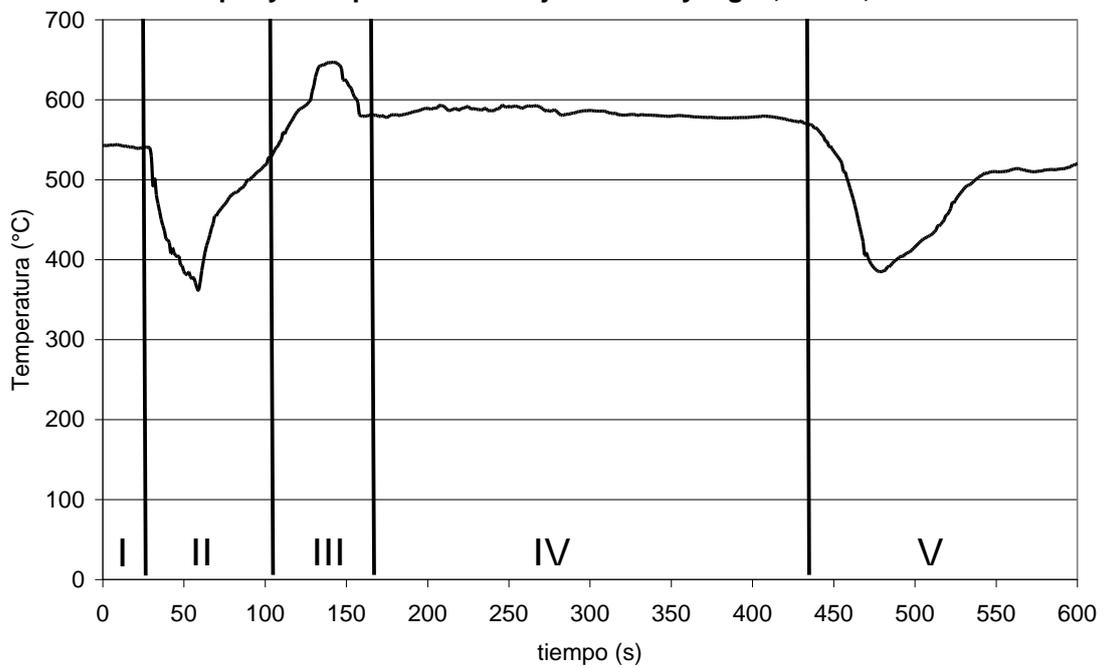
Gráfica 7.10 Historial y etapas para 60 latas, Temp. 520- 530 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.



Gráfica 7.11 Historial y etapas para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y sin manipulación de flujos de aire y/o gas, CTSC, 6 min.



Gráfica 7.12 Historial y etapas para 70 latas, Temp. 536- 544 °C., con termopar y manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, 6 min.

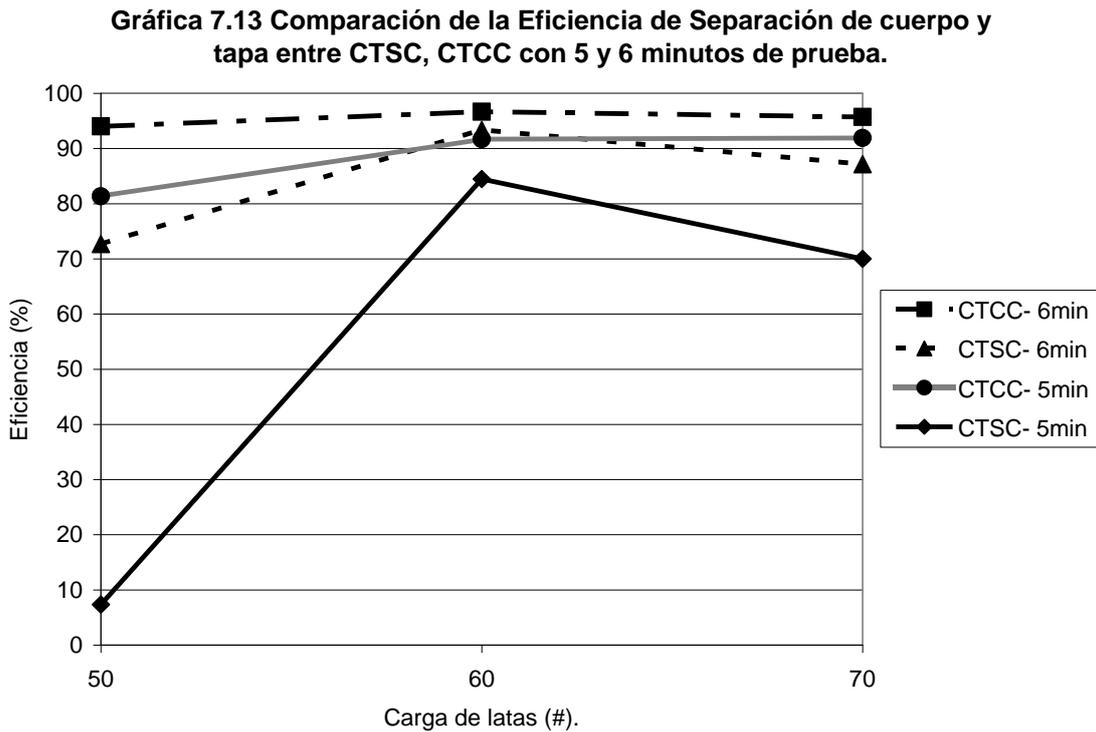


Con las gráficas anteriores se puede comparar directamente el comportamiento térmico durante los experimentos con cargas de 50, 60 y 70 latas y con 5 y 6 minutos, tanto sin manipular flujos de aire y/o gas, CTSC, como manipulando dichos flujos, para controlar la temperatura durante el experimento, CTCC.

La tabla 7.1 presenta los rangos de temperatura que se recomienda mantener cuando se manipulen de flujos de aire y/o gas para el control de temperatura durante el experimento, CTCC. El rango de temperatura a mantener varía de acuerdo a la carga, 50, 60 y 70 latas, y tiene como propósito que la temperatura esté dentro del rango de temperatura de fusión de la tapa, porque si es demasiado baja, no se logrará una fragmentación adecuada, y por el contrario, si es demasiado alta, el bote se fragmentará completamente, es decir, cuerpo y tapa. La temperatura recomendable es la T. C. Prom., mientras que Temp. 1. y Temp. 2 son las mínimas y máximas, respectivamente, que se deben mantener durante el experimento, de acuerdo a la carga de latas.

Tabla 7.1 Rangos de temperatura que se deben mantener al manipular flujos de aire y/o gas durante el experimento, CTCC.					
# De latas.	Temp. (°C.)	Temp. máx. (°C.)	Temp. 1 (°C.)	Temp. 2 (°C.)	T.C.Prom. (°C.)
50	520- 530	580- 620.	560	600	580
60	520- 530	600- 640	580	620	600
70	536- 544	640- 680	600	640	620
Tiempo= 5 y 6 minutos de prueba.					

La gráfica 7.13 permite comparar la eficiencia de separación de cuerpo y tapa, con cargas de 50, 60 y 70 latas, a 5 y 6 minutos de prueba, sin manipular flujos de aire y/o gas, CTSC, y manipulando flujos de aire y/o gas para elevar la temperatura de la meseta, CTCC.



Se puede observar claramente la misma tendencia, es decir, que con 50, 60 y 70 latas con 5 minutos, sin alterar flujos, CTSC, el máximo se obtiene con 60 latas. Al manipular flujos de aire y/o gas, CTCC, el máximo se repite. Al aumentar a 6 minutos, sin alterar los flujos, CTSC, el comportamiento es muy similar al de 5 minutos, pero aumenta la eficiencia, remarcando que el máximo se vuelve a presentar en 60 latas, y por último, con manipulación de flujos de aire y/o gas, CTCC, y 6 minutos, se presentan las eficiencias más altas, pero de nuevo se vuelve a presentar el máximo con 60 latas. Esto quiere decir que

para obtener una eficiencia elevada, la carga ideal de trabajo son 60 latas, de acuerdo a la capacidad del horno rotatorio, aunque tomando en cuenta que con 70 latas se obtienen mayores resultados en promedio, siempre y cuando el comportamiento se aproxime al máximo, que es de 60 latas.

Capítulo 8. Conclusiones.

Para las pruebas con 50 latas, 5 minutos, sin alterar los flujos de aire y/o gas, con termopar y sin control de la temperatura, la eficiencia es de 7.34%, debido a que la temperatura después de la combustión de la pintura del bote desciende por debajo de 580 °C. que es la temperatura donde inicia el desprendimiento de la tapa.

Para la prueba con 50 latas, 5 minutos, manipulando los flujos de aire y/o gas, con termopar y con control de la temperatura, la eficiencia aumentó a 81.34%, ya que se pudo controlar la temperatura entre 580- 637 °C. que es el intervalo de temperatura para desprender la tapa.

Para las pruebas de 50, 60 y 70 latas, con las condiciones de 5 minutos, con termopar y sin control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 7.34% a 84.45% y disminuyendo a 70% respectivamente, indicando un máximo con 60 latas.

Para las pruebas de 50, 60 y 70 latas, con las condiciones de 5 minutos, con termopar y con control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 81.34% a 91.67% y aumento ligeramente a 91.91% respectivamente, indicando que la eficiencia se mantiene bajo estas condiciones, teniéndose por lo tanto un mayor número de latas sin tapa para 70 latas.

Para los experimentos con 50 latas de carga, aumentando el tiempo de 5 a 6 minutos, con termopar y sin control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 7.34% a 72.67%, al aumentar el tiempo de permanencia de las latas en un minuto, la diferencia de eficiencia fue de 65.33%.

Para los experimentos con 50 latas de carga, aumentando el tiempo de 5 a 6 minutos, con termopar y con control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 81.34% a 94%, al aumentar el tiempo de permanencia de las latas en un minuto, la diferencia de eficiencia fue de hasta 12.66%.

Para las pruebas de 50, 60 y 70 latas, con las condiciones de 6 minutos, con termopar y sin control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 72.67% a 93.34% y disminuyendo a 87.14% respectivamente, indicando un máximo con 60 latas.

Para las pruebas de 50, 60 y 70 latas, con las condiciones de 6 minutos, con termopar y con control de la temperatura, la eficiencia aumenta de 94% a 96.67% y disminuyendo ligeramente a 95.72% respectivamente, indicando que la eficiencia se mantiene bajo estas condiciones, teniéndose por lo tanto un mayor número de latas sin tapa para 70 latas.

Comparando los experimentos de 50, 60 y 70 latas, con termopar y sin control de la temperatura, aumentando el tiempo de 5 a 6 minutos, se observa la misma tendencia, presentando un máximo en 60 latas, teniendo mayor número de botes sin tapa para los tres experimentos de 6 minutos.

Comparando los experimentos de 50, 60 y 70 latas, con termopar y con control de la temperatura, aumentando el tiempo de 5 a 6 minutos, se observa el mismo comportamiento, manteniéndose constante entre 60 y 70 latas, teniendo mayor eficiencia y número de botes sin tapa para los tres experimentos de 6 minutos.

El mejor resultado es para 70 latas, con termopar y con control de la temperatura, con 6 minutos obteniendo una eficiencia de 95.72%.

Capítulo 9. Sugerencias.

- 1.- Es necesario contar con flujómetros (rotámetros) para la línea de aire y para la línea de gas que tengan una escala adecuada de medición para los flujos requeridos de aire y de gas, y que nos permitan caracterizar y controlar la flama del quemador de tal modo que sea posible obtener una flama con condiciones similares en cualquier circunstancia.
- 2.- Es indispensable construir un dispositivo protector que permita manipular el termopar fácilmente, es decir, introducirlo y retirarlo, además de mantenerlo completamente dentro del horno y en la posición correcta, evitando que se doble o dañe, debido a que la adecuada medición de la temperatura es de gran importancia para los resultados basados en un análisis térmico.
- 3.- Se debe contar con una línea independiente de aire solo para el uso del quemador del horno, debido a que el uso de una línea compartida para diversos usos puede alterar el flujo en momentos críticos y de forma impredecible.
- 4.- Añadir una cribadora para el producto final, el cuerpo sin tapa, debido a que fragmentos de tapa quedan atrapados dentro del cuerpo y si se compacta y funde como tal, persistiría en el problema de mezclar aleaciones.
- 5.- Se debe experimentar con otros quemadores, diseños de compuerta frontal, dimensiones diferentes para la cámara interna del horno y evaluar el rendimiento, e intentar hacer que el proceso sea continuo en lugar de "Batch".
- 6.- En un plan a largo plazo es indispensable anexar al equipo una campana receptora de los gases de salida, para su tratamiento adecuado (lavador de gases) con el fin de evitar que polvos, residuos de compuestos orgánicos

volátiles (V. O. C.) y demás contaminantes presentes en los gases de salida se viertan indiscriminadamente a la atmósfera, reduciendo el impacto ambiental.

7.- Es necesario evaluar el material obtenido en una posterior fusión, así como la composición química después de deslacar y después de la fusión, y analizar que elementos es necesario añadir y comparar costos.

8.- Se debe compactar en “pacas” el cuerpo deslacadado y sin restos de tapa, para que en la fusión se evite una oxidación excesiva.

Capítulo 10. Referencias bibliográficas.

1.- Mackenzie, D. Scott y Totten, George E., HANDBOOK OF ALUMINIUM, VOLUME 2, Alloy Production And Materials Manufacturing, 1a. edición, Marcel Dekker Inc., New York, U. S. A., 2003, pp 115- 153.

2.- Davis, J. R., ALUMINIUM AND ALUMINIUM ALLOYS, 1a. ed., ASM INTERNATIONAL, editado por Davis & Associates, Materials Park, Ohio, U.S.A., 1993, pp 47- 54.

3.- Producción de Aluminio Primario, Alcoa [Consultado en Noviembre de 2009], disponible en URL:

http://www.alcoa.com/mexico/es/alcoa_mexico/dirt.asp

4.- Manejo y reciclaje del aluminio, Instituto mexicano del aluminio gaceta No. 123, 2002, [consultado en octubre de 2009], disponible en el URL:

<http://www.imedal.com.mx/busqueda/gaceta/recicladodealuminio.html>

5.- Reporte anual de actividades 2006, Rio Tinto ALCAN, [Consultado en Noviembre de 2009], disponible en URL: <http://www.alcan.com/>

6.- Reyes Arriaga, Gerardo, Procesos de Reciclado de Aluminio, alternativa para México, trabajo monográfico de actualización para obtener el grado de licenciatura, U. N. A. M., Facultad de Química, 2008.

7.- Gaceta del Instituto Mexicano del Aluminio, No. 169, [consultado en Noviembre de 2009], disponible en URL:

<http://www.world-aluminium.org/publication.html>

8.- Gaceta del Instituto Mexicano del Aluminio, No. 165, [consultado en Noviembre de 2009], disponible en URL:

<http://www.world-aluminium.org/publication.html>

9.- The London Metal Exchange, [Consultado en XI de 2009], disponible en URL: <http://www.lme.co.uk/>

10.- González Martínez, Ana Citlali, Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México, una aproximación monetaria, [consultado en noviembre de 2009], disponible en URL:

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/335/reciclaje.html>

11.- Ogaz Córdova, Arturo, Fabricación de un horno rotatorio para eliminar pintura y laca de envases de aluminio para bebida, previo a la fusión, tesis para obtener el grado de licenciatura, U. N. A. M., Facultad de Química, 2006.

12.- Comité del reciclado mundial de aluminio, Reciclado Mundial de aluminio, piedra angular del desarrollo sustentable, Instituto internacional del aluminio, Asociación europea del aluminio y Organización europea de recicladores de aluminio, [Consultado en noviembre de 2009], disponible en URL:

<http://www.world-aluminium.org/>, <http://www.aluminium.org/>,

<http://www.eaa.net/>, <http://www.eaa.net/>, <http://www.oea-alurecycling.org/>.

13.- Comité del reciclado mundial de aluminio, Reciclado de Aluminio en Europa, el camino a productos de alta calidad, Instituto internacional del aluminio, Asociación europea del aluminio y Organización europea de recicladores de aluminio, [Consultado en noviembre de 2009], disponible en:

<http://www.world-aluminium.org/>, <http://www.aluminium.org/>,

<http://www.eaa.net/>, <http://www.eaa.net/>, <http://www.oea-alurecycling.org/>.

14.- Bowman, Kenneth A., ALCOA'S used beverage can (UBC) alloy separation process, First international symposium on recycle and secondary recovery of metals, Metallurgical society of AIME, TMS, diciembre de 1985, pp. 429- 443.

- 15.- Bethesda K., Recycling of aluminium furnace. Access Czech Republic Business Bulletin. Julio 8, 1995, Página 5. [consultado en noviembre de 2009], disponible en PROQUEST DATABASE.
- 16.- Lim, D. H., C. H. Lee, E. P. Yoon, Aluminium alloy in aluminium recycling process. Materials Science and Technology, London. [Consultado en noviembre de 2009], disponible en PROQUEST DATABASE.
- 17.- Knutsson, Lage y Sjöberg, Gösta, Aluminium can recycling in Sweden, Finspong, Sweden, Light Metals 1992, editado por Cutshall, Euel R., The mineral, metals and materials society, 1991, pp. 1137- 1141.
- 18.- Creel II, J. M., Recycling, a primary/ secondary producers view. Reynolds metals company, Richmond, Virginia. Light Metals 1990, editado por Bickert, Christian M., The minerals, metals and materials society, 1990, pp. 665- 667.
- 19.- Viland, Joseph S., A secondary' s view of recycling, Wabash alloys, Light Metals 1990, Editado por por Bickert, Christian M., The minerals, metals and materials society, 1990, pp. 669- 673.
- 20.- Van Linden, J. H. L., Aluminium recycling, everybody' s business, technological challenges and opportunities, Alcoa Laboratories, Pensilvania, Light Metals 1990, editado por Bickert, Christian M., The minerals, metals and materials society, 1990, pp. 675- 682.
- 21.- Van Linden, Jan H. L., y Stewart, Donald L., Medición del carbón residual en envases de aluminio de bebidas (UBC) para probar la efectividad del deslacado, ALCOA Center, Pensilvania, Light Metals 1992, editado por Cutshall, Euel R., The minerals, metals and materials society, 1991, pp. 1143- 1145.

- 22.- Perry, O. H., Deslacado de productos de aluminio, Stein Atkinson Stordy Limited, Reino Unido, Light Metals 1993, editado por Das, Subodh K., The minerals, metals and materials society, 1992, pp. 1039- 1044.
- 23.- Kirk, Thomas E., Composición para deslacar envases de aluminio durante el reciclado, Reynolds Metals Company, Richmond, Va., patente No. US005494603A, del 27 de febrero de 1996.
- 24.- Kenney, James C., Diseño y construcción de una unidad de reciclaje de envases (UBC) de pequeña escala, Facultad de Ingeniería, Universidad Temple, Philadelphia, Light Metals 1997, editado por Huglen, Reidar, The minerals, metals and materials society, 1997, pp. 1101- 1104.
- 25.- Soares Tenorio, Jorge Alberto, Optimización de la composición de sales en los fundentes usados en el reciclado de envases de aluminio, Universidad de Sao Paulo, Brazil, Light Metals 1997, editado por Huglen, Reidar, The minerals, metals and materials society, 1997, pp. 1105- 1108.
- 26.- Nijhof, G. H., Separación automática de envases de aluminio de residuos domésticos, Hoogovens Research and Development, Holanda, Light Metals 1997, editado por Huglen, Reidar, The minerals, metals and materials society, 1997, pp. 1115- 1119.
- 27.- Rossel, H., et al., Investigación a escala piloto del pretratamiento térmico de envases flexibles de aluminio, Light Metals 1997, editado por Huglen, Reidar, The minerals, metals and materials society, 1997, pp. 1121- 1131.
- 28.- Thomas, M. P., et al., Reciclado de chatarras de aluminio con contaminación de productos orgánicos, experiencia funcional con un deslacador de lecho fluidizado ALCAN, Light Metals 1998, editado por Welch, Barry, The minerals, metals and materials society, 1998, pp. 1227- 1232.

- 29.- Schröder, Dominik y Martosko, Don, Reciclado de aluminio en un ambiente libre de sales, Canonsburg, Pensilvania, E. U. A., Light Metals 2000, editado por Peterson, R. D., The minerals, metals and materials society, 2000, pp. 907-911.
- 30.- Peterson, Ray D., El proveedor de metal secundario y calidad del metal, IMCO Recycling Inc., TN, E. U. A., Light Metals 2003, editado por Crepeau, Paul N, The minerals, metals and materials society, 2003, pp. 1075- 1081.
- 31.- Stewart Jr., D. L. y Tomaswick, K. M., Cuantificación de la totalidad de óxidos en aluminio, ALCOA Center, Pensilvania, E. U. A., Light Metals 1997, editado por Huglen, Reidar, The minerals, metals and materials society, 1997, pp. 1141- 1143.
- 32.- Kvithyld, Anne, et al., Deslacado de chatarra de aluminio en varias atmósferas, Universidad de ciencia y tecnología de Noruega, Light Metals 2002, editado por Schneider, Wolfgang, The minerals, metals and materials society, 2002, pp. 1055- 1060.
- 33.- Kvithyld, Anne, et al., Gases generados durante el deslacado de chatarra de aluminio en atmósferas inerte y oxidante, Universidad de ciencia y tecnología de Noruega, Light Metals 2003, editado por Crepeau, Paul N., The minerals, metals and materials society, 2003, pp. 1091- 1095.
- 34.- Kvithyld, Anne, et al., Estudios de microscopios del deslacado de chatarra de aluminio, Universidad de ciencia y tecnología de Noruega, Light Metals 2004, editado por Tabereaux, Alton T., The minerals, metals and materials society, 2004, pp. 151- 156.