



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL RECICLADO DE  
LATAS DE BEBIDAS DE ALUMINIO, USANDO FUNDENTE, EN  
HORNO DE REVERBERO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

**P R E S E N T A :**

**MORALES VARGAS AARÓN MAURICIO**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. ADRIÁN MANUEL AMARO VILLEDA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd Mx**

**2019**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE: DR. JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA HINOJOSA**

**VOCAL: M. EN M. ARTURO ALEJANDRO SANCHEZ SANTIAGO**

**SECRETARIO: DR. ADRIÁN MANUEL AMARO VILLEDA**

**1<sup>er</sup> SUPLENTE: M. en I. AGUSTÍN GERARDO RUIZ TAMAYO**

**2<sup>do</sup> SUPLENTE: I.Q.M. HECTOR ISRAEL QUIROGA HERRERA**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**UNAM**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

**LABORATORIO DE FUNDICIÓN**

**ASESOR DEL TEMA: DR. ADRIÁN MANUEL AMARO VILLEDA** \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE: AARÓN MAURICIO MORALES VARGAS** \_\_\_\_\_

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
POSICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVOS .....	3
HIPÓTESIS .....	3
<b>CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES TEÓRICOS .....</b>	<b>4</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	4
1.2 PRODUCCIÓN DE ALUMINIO .....	4
1.3 BENEFICIOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO .....	5
1.4 PROCESO GENERAL DEL RECICLADO DE ALUMINIO .....	5
1.5 HORNOS DE RECICLADO DE ALUMINIO .....	6
1.5.1 HORNO DE REVERBERO .....	6
1.5.2 HORNO ROTATORIO .....	7
1.5.3 HORNO DE CRISOL .....	8
1.6 PROPIEDADES DEL ALUMINIO .....	9
1.7 CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO .....	9
1.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS ALEACIONES PRINCIPALES .....	10
1.9 FABRICACIÓN DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO .....	11
1.10 ALEACIONES DE LA LATA DE BEBIDA DE ALUMINIO .....	12
1.11 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LATAS DE ALUMINIO .....	13
1.11.1 CORTANDO LOS DISCOS.....	13
1.11.2 REDIBUJANDO LA PIEZA.....	14
1.11.3 RECORTE DE LAS OREJAS .....	15
1.11.4 LIMPIEZA Y DECORACIÓN .....	16
1.11.5 LA TAPA .....	16
1.11.6 RELLENO Y COSTURA .....	17
1.12 RECUBRIMIENTOS EMPLEADOS EN LATAS DE ALUMINIO .....	18
1.12.1 RECUBRIMIENTOS INTERIORES.....	18

1.12.2 RECUBRIMIENTOS EXTERIORES .....	18
1.13 ESCORIAS.....	19
1.14 FUNDENTES .....	20
1.14.1 FUNDENTE DE COBERTURA .....	21
1.14.2 FUNDENTE DE ESCORIADO .....	21
1.14.3 FUNDENTE DE LIMPIEZA .....	21
1.14.4 FUNDENTE DE LIMPIEZA DE PAREDES .....	22
1.14.5 FUNDENTES ESPECIALES.....	22

**CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO..... 23**

2.1 MATRIZ DE EXPERIMENTOS .....	23
2.2 PREPARACIÓN DE PACAS DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO CON PINTURA .	23
2.3 PREPARACIÓN DE LA CARGA DEL BOTE DE ALUMINIO EN HORNO ROTATORIO .....	23
2.4 PREPARACIÓN DE PACAS DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO CON PINTURA PARCIALMENTE QUEMADA .....	24
2.5 INSTRUMENTACIÓN DEL HORNO DE REVERBERO.....	25
2.6 FUSIÓN DE LA PACA DE BEBIDA DE ALUMINIO EN HORNO DE REVERBERO.....	25
2.7 VACIADO DEL HORNO DE REVERBERO .....	28
2.8 ANÁLISIS QUÍMICO .....	29

**CAPÍTULO 3 RESULTADOS ..... 30**

3.1 DETERMINACIÓN DEL PESO Y LOS ELEMENTOS APORTADOS POR LAS LATAS DE ALUMINIO.....	30
3.2 EFICIENCIAS OBTENIDAS DEL PROCESO DE RECICLADO .....	31
3.3 OXIDACIÓN DE LOS ELEMENTOS ALEANTES .....	33
3.3.1 EL HIERRO COMO IMPUREZA .....	34
3.3.2 EL MANGANESO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	36
3.3.3 OXIDACIÓN DEL MAGNESIO.....	38
3.3.4 EL TITANIO EN EL RECICLADO DE ALUMINIO .....	40
3.4 GANANCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN .....	42

3.5 CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL HORNO DE REVERBERO .....	43
3.6 COMPARATIVO DE LA TEMPERATURA DE COLADA Y TIEMPO DE FUSIÓN CON LOS PRODUCTOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO .....	48
<b>CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 EVALUACIÓN DEL PESO Y LOS ELEMENTOS APORTADOS POR LAS LATAS DE ALUMINIO.....	50
4.2 ANÁLISIS DE LAS EFICIENCIAS OBTENIDAS DEL PROCESO DE RECICLADO DE ALUMINIO.....	51
4.3 ANÁLISIS DE LA OXIDACIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ALEANTES ....	52
4.3.1 EL HIERRO COMO IMPUREZA .....	53
4.3.2 EL MANGANESO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	53
4.3.3 OXIDACIÓN DEL MAGNESIO.....	55
4.3.4 EL TITANIO EN EL RECICLADO DE ALUMINIO .....	56
4.4 ANÁLISIS DE LA GANANCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN.....	56
4.5 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL HORNO DE REVERBERO	57
4.6 ANÁLISIS DEL COMPARATIVO DE LA TEMPERATURA DE COLADA Y TIEMPO DE FUSIÓN CON LOS PRODUCTOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO.....	58
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS ELECTRÓNICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 7 ANEXOS – HOJAS DE CONTROL DE LAS PRUEBAS DE FUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
7.1 FUSIÓN DE PACAS CON PINTURA, SIN PRECALENTAR.....	64
7.2 FUSIÓN DE PACAS CON PINTURA PARCIALMENTE QUEMADA, SIN PRECALENTAR.....	67
7.3 FUSIÓN DE PACAS CON PINTURA, CON PRECALENTAMIENTO .....	70
7.4 FUSIÓN DE PACAS CON PINTURA PARCIALMENTE QUEMADA, CON PRECALENTAMIENTO .....	73

El aluminio y sus aleaciones han tenido una gran aceptación en diferentes ramas de la industria como: construcción, eléctrica, automotriz, envasado, aeronáutica y naval, lo que hace del reciclado de chatarra de aluminio para la fabricación de nuevos productos, un negocio óptimo para satisfacer el constante consumo de este material. El reciclaje de productos de aluminio se ve afectado por factores tales como sistemas de recolección y depósito, que pueden variar de un país a otro, la vida útil del producto y las diferentes áreas de aplicación del mismo.

Se estima que aproximadamente el 90% del aluminio utilizado en el sector del transporte se clasifica y se recupera, en el caso del aluminio en la industria del envasado, el porcentaje de productos reciclados es generalmente bajo, a excepción de las latas de bebidas, donde el porcentaje puede ser tan alto como 85%. Las latas de aluminio son los elementos más valiosos de la industria del reciclaje ya que el valor del aluminio recuperado es muy alto y logra cubrir el coste de la recolección y el procesamiento.

El aluminio es un material que se utiliza comúnmente para fabricar envases o latas, comprendiendo el 99% de todas las latas de cerveza y el 97% de todas las latas de refrescos. Estos envases contribuyen a la generación de 3.4 millones de toneladas de aluminio que son desechadas cada año, siendo los envases de bebidas el mayor componente de la chatarra de aluminio en todo el mundo.

La producción de aluminio secundario a partir de reciclaje de latas de bebidas de aluminio utiliza un 95% menos de energía, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 90%, en comparación con la producción de aluminio primario a partir del proceso electrolítico Hall-Hérout.

El consumo de latas de bebida de aluminio genera actualmente una gran cantidad de chatarra de aluminio y se puede reciclar mediante diferentes rutas. En este trabajo se siguieron dos rutas como primer variable, para evaluar en cuál de ellas se puede recuperar la mayor cantidad de aluminio al ser recicladas en un horno de reverbero con una capacidad de 20 kilogramos. La primera ruta fue, a partir del bote de bebida de aluminio sin ningún tratamiento previo, del cual se fabricaron pacas de aluminio de 0.5 Kg hasta tener

60 kg. La segunda ruta para reciclar el bote de bebida de aluminio consistió en tratar previamente el bote en un horno rotatorio, con la finalidad de eliminar parcialmente la pintura externa, recubrimiento interno y los residuos de la bebida, también como los generados por el usuario (popotes, servilletas, colillas de cigarros), y debido a la temperatura de trabajo en el horno rotatorio, el bote se fragmentó, lo que permite eliminar residuos ajenos al bote, a partir de este bote de bebida se fabricaron también pacas de aluminio de 0.5 Kg. hasta obtener 60 Kg.

Para reciclar el bote de aluminio mediante las dos rutas mencionadas en un horno de reverbero, primero se fundieron 5 Kg de lingotes en el horno de reverbero con la composición de aluminio reciclado de bote de bebida de aluminio, posteriormente se adicionó 1 Kg de paca de la ruta a seguir a tiempos establecidos, hasta llegar a 15 kilogramos en total y se obtuvieron probetas para análisis químico, a intervalos establecidos. En este trabajo se utilizó fundente de cobertura, con el objetivo de evitar la oxidación del aluminio durante el reciclado del bote en el horno de reverbero, en trabajos anteriores no se usó fundente. En cada prueba se controló la temperatura de calentamiento de las cámaras del horno de reverbero así como la fusión de cada una de las cargas y del metal líquido.

Como variable adicional se consideró un precalentamiento de las pacas antes de introducirlas en el horno de reverbero. La eficiencia obtenida del proceso de reciclado se calculó en función de las cantidades de escoria y aluminio limpio generado. Para conocer el grado de oxidación de los principales elementos aleantes del bote de bebida como Mg, Fe, Mn y Ti se realizaron análisis químicos mediante espectrometría de emisión óptica.



**OBJETIVOS**

1. Determinar la eficiencia de reciclar latas de bebidas de aluminio con pintura, en un horno de reverbero usando fundente de cobertura.
2. Determinar la eficiencia de reciclar latas de bebidas de aluminio con pintura parcialmente quemada, en un horno de reverbero usando fundente de cobertura.
3. Determinar el efecto y/o desventaja de aplicar un quemado parcial de los recubrimientos internos y externos de las latas de bebida de aluminio, sobre la eficiencia del proceso de reciclado.
4. Determinar las pérdidas por oxidación de los elementos de aleación durante el reciclado para latas de bebidas de aluminio, en un horno de reverbero usando fundente de cobertura.
5. Determinar las condiciones de operación adecuadas del horno de reverbero empleado, con las cuales se pueda obtener una mayor eficiencia de aluminio reciclado con las variables previamente establecidas.

**HIPOTÉISIS**

La eficiencia en el reciclado de latas de aluminio en horno de reverbero aumentará cuando se realice previamente un quemado parcial de los recubrimientos de las latas en un horno rotatorio. El fundente de cobertura disminuirá las pérdidas por oxidación de elementos como el Mg, Mn, Ti, Fe, además de tener un efecto positivo sobre las ganancias de estos en el reciclado de aluminio. Al reciclar pacas de latas de aluminio en el horno de reverbero a temperaturas superiores a 700°C esto provocará una disminución de la eficiencia del aluminio y un aumento en la cantidad de escoria generada.

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Para el aluminio en la industria del envasado en México, el porcentaje de productos reciclados es generalmente bajo, a excepción de las latas de bebidas donde el porcentaje llega a ser del 85%. En México se tiran 15 millones 400 mil latas al día, lo que sería 10 mil 348.8 millones al año de donde se recolecta un 97% del cual un 50% o más se vende a Estados Unidos, donde lo aprovechan, transforman y al final, nos lo vende como producto terminado en algunas de sus presentaciones; latas de alimentos, material para construcción y en mayor porcentaje como autopartes [1]. Los obstáculos que enfrenta México en el reciclado de aluminio van desde un bajo desarrollo de tecnología, sistemas de recolección y depósito, hasta la falta de infraestructura necesaria para el correcto aprovechamiento de chatarras. El principal problema es que los costos de dichas plantas son muy elevados; se tienen que traer del extranjero por lo que resulta de una inversión muy alta llegando a alcanzar los 10 millones de dólares, dependiendo de las características y el país de origen [1].

## **1.2 PRODUCCIÓN DE ALUMINIO**

La producción de aluminio primario está basado en el proceso Hall-Hérault, en donde la alúmina ( $Al_3O_2$ ) refinada que se obtiene de la bauxita se disuelve en baños de criolita ( $Na_3AlF_6$ ) con adiciones de sales de flúor manteniendo así la temperatura del baño, densidad, resistividad y solubilidad de la alúmina, siendo que una corriente eléctrica se hace pasar a través del baño de sales, para obtener aluminio como placas de metal en los cátodos. El aluminio que se obtiene se coloca en crisoles, para fundirse y producir lingotes, llegando la producción anual de aluminio primario a partir de bauxita a 32 millones de toneladas al año. La producción de aluminio secundario se obtiene a partir de procesos de reciclado de chatarra de aluminio, subsecuentemente seguido de una disminución de energía así como de materias primas empleadas en el proceso, dando productos para un nuevo maquinado o aplicación.[2]

### 1.3 BENEFICIOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO

El reciclaje de chatarra de aluminio disminuye el aluminio en basureros, siendo así que el principal argumento ecológico a favor del aluminio es su excelente reciclabilidad, la producción de una tonelada métrica de aluminio primario requiere alrededor de 17,000KWh de electricidad mientras que la misma cantidad de aluminio secundario consume aproximadamente 750KWh, por lo tanto el aluminio reciclado sustituye al aluminio primario con ganancia del 95%. El reciclaje tiene otras ventajas además del ahorro de energía, reduce significativamente emisiones de gases y agua residual, como muestra la **Tabla 1.1**. [3]

**Tabla 1.1** – Información de proceso para la producción de aluminio primario y secundario.

	Producción Primaria	Producción Secundaria
Consumo de energía [GJ/t]	174	20
Emisiones Atmosféricas [Kg/t]	204 [CO <sub>2</sub> , NO]	12 [CO <sub>2</sub> ]
Residuos Sólidos [Kg/t]	210-365	40
Consumo de Agua [m <sup>3</sup> /t]	57	1.6

### 1.4 PROCESO GENERAL DEL RECICLADO DE ALUMINIO

El proceso de reciclado de aluminio consta de recolectar chatarra de aluminio, separando los materiales del resto de residuos no metálicos y/o metales ajenos al proceso. Para llevar a cabo este proceso, las plantas de reciclaje cuentan con separadores electromagnéticos o por diferencia de densidad, a continuación los materiales se deshacen en pequeñas partes, para conseguir que el volumen total disminuya en gran medida. La chatarra de aluminio compactada (pacas) resultante se limpia de manera química o mecánica, con el fin de que la chatarra no contenga otros materiales que pudieran mezclarse. Una vez limpias las pacas de aluminio, se compilan en grandes bloques para evitar su oxidación, fácil manejo y continuar con el proceso de reciclaje, a continuación, son fundidos. Este proceso se lleva a cabo en hornos que suelen prepararse a unos 700°C. A esta temperatura se realizan tratamientos al metal líquido (desgasificación y escoreo) para limpiar el metal, antes de terminar el proceso de reciclaje del aluminio, se toma una muestra del aluminio todavía fundido y dependiendo de cuáles sean las características del producto requerido, se le

añaden aluminio de alta pureza y otros elementos para ajustar la composición de acuerdo con la función seguida del material (procesos de fundición o metalmecánicas). Una vez que se obtiene el aluminio con la composición adecuada, el horno se abre y se extrae el aluminio todavía líquido, finalmente se da la forma deseada al material, ya sean planchas, lingotes, barras, según las especificaciones del cliente. [4,5]

### **1.5 HORNOS DE RECICLADO DE ALUMINIO**

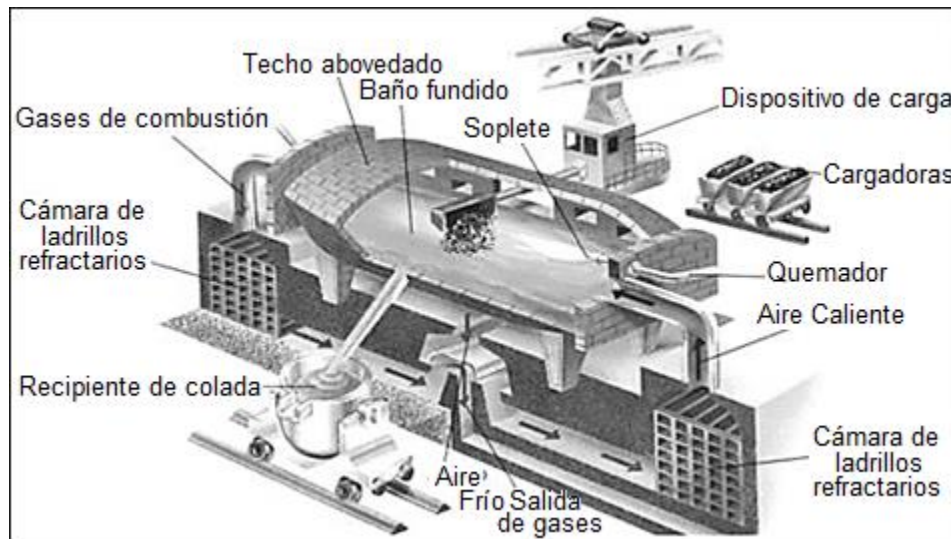
El relativo bajo punto de fusión del aluminio y sus aleaciones, además de su alta capacidad calorífica, lo hacen un material ideal para promover un sistema de fusión en donde se aprovechen los gases de combustión tanto para el proceso de fusión como para el precalentamiento de la chatarra. La eficiencia en la fusión de metales es una de las principales preocupaciones en la industria de fundición, pues las reducciones de costos asociados a los combustibles, costos ambientales y el mantenimiento de revestimientos refractarios son proporcionales a la optimización del proceso y la eficiencia de los hornos, siendo las unidades más comunes el horno de reverbero, el horno rotatorio y el horno de crisol para el reciclado de aluminio.

#### **1.5.1 HORNO DE REVERBERO**

La chatarra de aluminio se puede fundir en hornos de reverbero de gas natural desde 5 hasta 100 toneladas de capacidad, el modo principal de transferencia de calor en el horno de reverbero es a través de la radiación de las paredes de ladrillo refractario al aluminio, pero la transferencia de calor por convección también proporciona calentamiento de la flama del quemador al aluminio. Es una práctica común cargar la chatarra a una reserva del metal líquido dentro del horno a través de una cámara lateral. El metal líquido a menudo contiene una capa de fundente para ayudar a proteger la reserva de aluminio fundido de la oxidación y para mejorar la recuperación del metal de la chatarra.

La escoria resultante de esta operación de fusión se llama escoria negra debido a su característico color oscuro y se elimina periódicamente de la superficie del baño, esta escoria puede contener de 10 a 20% de aluminio. Los hornos de reverbero de aluminio

típicos presentan eficiencias energéticas del 15 a 39%, que puede aumentar (15%) por recuperación. Las principales ventajas proporcionadas por el horno de reverbero es el procesamiento de grandes volúmenes de chatarra, bajos costos de operación y mantenimiento. Sus desventajas son las altas tasas de oxidación de metales, bajas eficiencias y grandes requisitos de espacios, un ejemplo del horno de reverbero se puede observar en la **Figura 1.1**.



**Figura 1.1** – Esquema de un horno de reverbero.

### 1.5.2 HORNO ROTATORIO

Los hornos rotatorios de fusión se utilizan para fundir chatarra de aluminio, viruta, escoria y chatarra de aluminio con contenido de hierro, también para la fundición de plomo, cobre, entre otros. Como se observa en la **Figura 1.2**, el horno consiste en un tambor rotativo (casco) integrado en un chasis equipado con un mecanismo de basculamiento. El quemador es posicionado en la puerta en el frente del horno, y la unidad puerta/quemador es también la ruta de extracción de los productos de combustión. La carga del horno es realizada por la puerta y la descarga basculando la unidad hacia el frente, su capacidad de fusión varía de 0.5 a 0.7 toneladas por hora. Las temperaturas de fusión típicas son alrededor de 700-750°C. La ventaja del horno rotativo es que incluso se puede manipular chatarra altamente contaminada. Una desventaja es la alta demanda de energía, porque

además del metal, la sal usada como fundente debe fundirse aumentando los costos del procesamiento de la escoria.

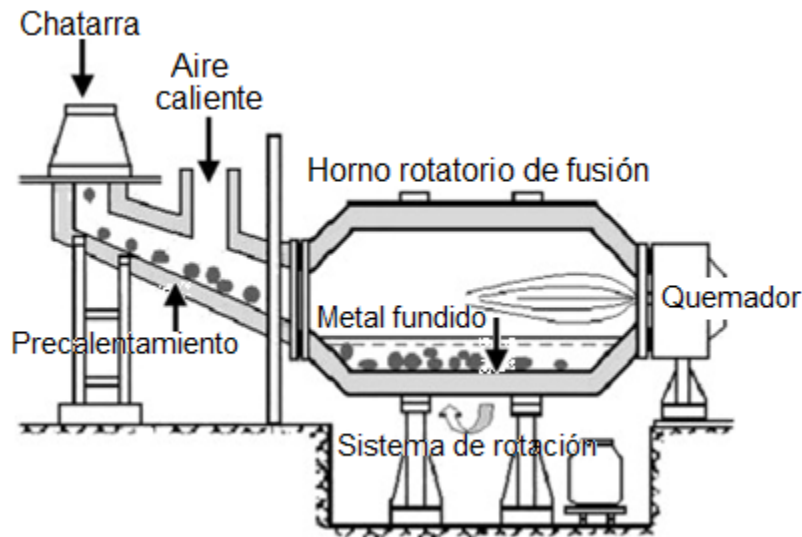
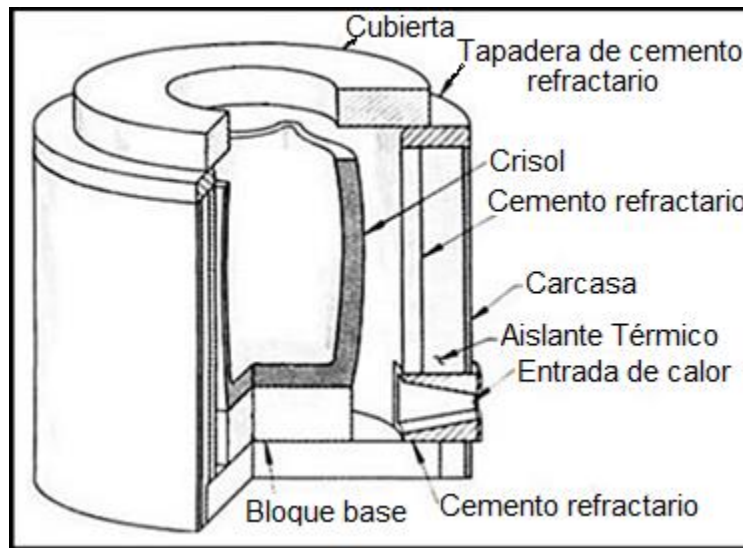


Figura 1.2 – Esquema de un horno rotatorio.

### 1.5.3 HORNOS DE CRISOL

Un horno de crisol no es más que una recámara a la cual se le suministra energía, almacena calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente conductor del calor, resistente a la acción del metal y a las altas temperaturas denominado crisol, el cual permite fundir el metal en su interior para luego ser vertido a un molde previamente preparado, como se observa en la **Figura 1.3**. Estos hornos trabajan por combustión de gas, que calienta el crisol que contiene el metal fundido. El crisol se apoya sobre la base refractaria y le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas. Normalmente el crisol está hecho de grafito o carburo de silicio, el cual puede soportar materiales a altas temperaturas, como el bronce, aluminio, latón, cobre, magnesio, monel, níquel. La capacidad del crisol puede variar de apenas unas cuantas onzas para fundiciones de laboratorio hasta 1400 kg para la fundición de aleaciones de aluminio. Entre las opciones para el combustible figuran el carbón, coque, gases comerciales (natural, propano, etc.) y combustibles oleosos.



**Figura 1.3** - Esquema de un horno de crisol.

## 1.6 PROPIEDADES DEL ALUMINIO

El aluminio y sus aleaciones son materiales de los más versátiles, económicos y atractivos para una amplia gama de aplicaciones desde papel de envoltura, suave y altamente dúctil, hasta aplicaciones de ingeniería más exigentes. Las aleaciones de aluminio ocupan el segundo lugar en uso después de los aceros, como materiales estructurales. Adecuadamente aleado y tratado térmicamente, el aluminio puede resistir la corrosión de agua, sal y otros factores ambientales además de una amplia gama de otros agentes químicos y físicos. Tales propiedades, combinadas con una alta resistencia de algunas aleaciones de aluminio, permiten el diseño y la construcción de estructuras fuertes y livianas que son particularmente ventajosas para vehículos espaciales, aeronaves, así como todo tipo de vehículos terrestres y acuáticos. [6]

## 1.7 CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Para aumentar las propiedades mecánicas del aluminio se tiene que allear con otros elementos como el cobre, magnesio, manganeso, silicio y zinc entre otros, diseñándose un gran número de aleaciones para satisfacer necesidades específicas, las principales aleaciones están dentro de una serie de normas nacionales e internacionales que

especifican sus composiciones y propiedades mecánicas. De acuerdo con la Asociación de Aluminio (AA) estas normas se dividen en dos grupos principales, uno es el que se usa para aleaciones coladas y el otro que se emplea para fabricar aleaciones para procesos metalmecánicos. Las aleaciones para procesos metalmecánicos se designan mediante un sistema de cuatro dígitos de los cuales el primero de ellos indica el elemento principal de la aleación dentro del grupo, como se puede observar en la **Tabla 1.2**. [7]

**Tabla 1.2** – Nomenclatura de las aleaciones base aluminio para procesos metalmecánicos.

Aleación	Elementos de mayor aleación
1XXX	99.0% min de Aluminio
2XXX	Cobre
3XXX	Manganeso
4XXX	Silicio
5XXX	Magnesio
6XXX	Magnesio-Silicio
7XXX	Zinc
8XXX	Otros elementos

### 1.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS ALEACIONES PRINCIPALES

Las aleaciones de la serie 1xxx son de aluminio puro y sus variaciones; con composiciones de 99.0% o más de aluminio. Dentro de la serie 1xxx, los últimos dos de los cuatro dígitos en la designación indican el porcentaje mínimo de aluminio. Estos dígitos son los mismos que los dos dígitos a la derecha del punto decimal en el porcentaje de aluminio mínimo especificado para la designación cuando se exprese a la 0.01%. Al igual que con el resto de la serie de aleación, el segundo dígito indica modificaciones en los límites de impurezas o elementos añadidos intencionalmente. Las composiciones de la serie 1xxx no responden a ningún tratamiento por solución sólida, pero puede reforzarse modestamente mediante endurecimiento por tensión. [8]



Las aleaciones de la serie 2xxx tienen cobre como su principal elemento de aleación, debido a que el cobre irá en cantidades significativas a una solución sólida en aluminio, estas aleaciones responderán al tratamiento térmico de solución y son referidos como tratable térmicamente. Las aleaciones de la serie 3xxx están basadas en manganeso y son endurecibles por deformación, estas aleaciones no responden al tratamiento térmico de solución. Las aleaciones de la serie 4xxx se basan en silicio; algunas aleaciones son tratables térmicamente, otras no lo son, dependiendo de la cantidad de silicio y otros componentes de aleación.

Las aleaciones de la serie 5xxx se basan en magnesio y son endurecibles por deformación, pero no es tratable térmicamente. Las aleaciones de la serie 6xxx tienen magnesio y silicio como su principal elementos de aleación, que se combinan como siliciuro de magnesio ( $Mg_2Si$ ) siguiendo una solución sólida, las aleaciones en esta serie son tratables térmicamente. Las aleaciones de la serie 7xxx tienen zinc como su principal elemento de aleación, a menudo con cantidades significativas de cobre y magnesio, son tratables térmicamente. La serie 8xxx se caracteriza por tener una composición miscelánea, teniendo cantidades apreciables de estaño, litio y/o hierro.

### **1.9 FABRICACIÓN DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO**

El aluminio maquinado para latas puede soportar más de 90 psi ( $lb/in^2$ ) ejercida por el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en cerveza y refrescos. El acabado brillante del aluminio también lo convierte en un atractivo fondo para la impresión decorativa, importante para un producto. Las latas de aluminio constan principalmente de dos partes, el cuerpo cuya aleación es 3004 cuyos elementos principales son: 1.25%Mn y 1.05%Mg y la tapa que es la aleación 5182 cuyos elementos principales son: 0.35%Mn, 4.50%Mg, en las **Tabla 1.3** y **Tabla 1.4** se tienen las composiciones químicas del cuerpo y la tapa respectivamente. El método moderno para fabricar latas de bebida de aluminio se llama dibujo de 2 piezas y planchado de paredes, presentado por primera vez por la empresa Reynolds Metals en 1963. [8]

### 1.10 ALEACIONES DE LA LATA DE BEBIDA DE ALUMINIO

La resistencia a la tracción y cedencia que presenta la aleación de aluminio 5182 frente a la 3004, como se observa en la **Tabla 1.3** y **1.4**, es la adecuada para fabricar las tapas de las bebidas de aluminio, sin embargo la aleación 3004 es la indicada para poder fabricar el cuerpo de la lata al poder someterse a los procesos de embutido dados por el método de dibujo de 2 piezas y planchado de paredes.

**Tabla 1.3** - Composición química y propiedades mecánicas de la aleación 3004, cuerpo del bote de aluminio.

Elemento	Composición Química [%]	Propiedad	Valor
Si	0.3	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.72
Fe	0.7	Módulo de elasticidad [GPa]	75
Cu	0.25	Resistencia a la tracción [MPa]	215
Mn	1.0-1.5	Resistencia a la cedencia [MPa]	170
Mg	0.8-1.3	Resistencia a la fatiga [MPa]	105
Zn	0.25	Elongación [%]	10
Ti	0.1	Dureza [HB500]	52

**Tabla 1.4** - Composición química y propiedades mecánicas de la aleación 5182, tapa del bote de aluminio.

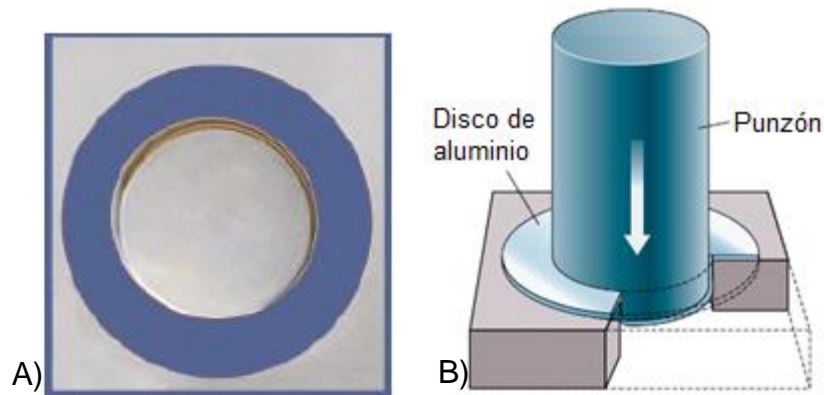
Elemento	Composición Química [%]	Propiedad	Valor
Si	0.2	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.65
Fe	0.35	Módulo de elasticidad [GPa]	71
Cu	0.15	Resistencia a la tracción [MPa]	420
Mn	0.2-0.5	Resistencia a la cedencia [MPa]	395
Mg	4.0-5.0	Resistencia a la fatiga [MPa]	140
Zn	0.25	Elongación [%]	25
Ti	0.1	Dureza [HB500]	25

## **1.11 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LATAS DE ALUMINIO**

El método para fabricar latas de bebida de aluminio empleado por la empresa Reynolds Metals desde 1963, se convirtió en el estándar para la industria del envasado. Empresas como PepsiCo y Coca-Cola adoptaron latas de aluminio en sus procesos desde 1967. La cantidad de latas de aluminio demandadas en EE.UU aumentó de 500 millones en 1965 a 8.5 mil millones en 1972, aumentando el consumo de latas de bebida de aluminio a medida que el aluminio se convirtió en una opción para el envasado de bebidas. Esta lata de aluminio no solo es ligera en comparación con latas de acero convencionales, tiene alta resistencia a la corrosión, se enfría rápidamente, su acabado brillante es fácilmente imprimible y llamativo, así como altamente reciclable. [8]

### **1.11.1 CORTANDO LOS DISCOS**

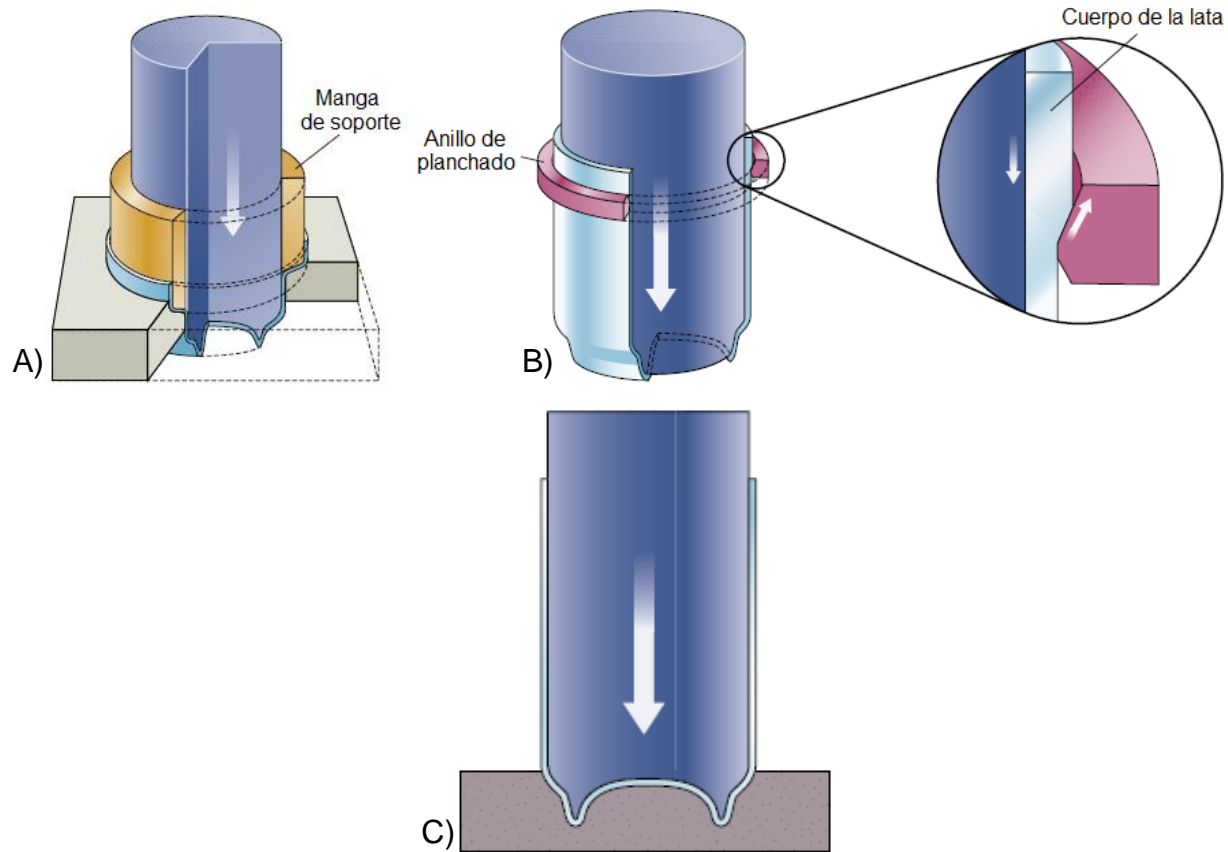
El proceso comienza con un lingote de aluminio de aproximadamente 76 cm de grosor que se lamina y luego se enrolla en una lámina delgada. El primer paso en la fabricación de la lata es cortar la hoja en un círculo, llamado disco, usando un punzón clavado en una base circular que formará el fondo y los lados de la lata. Cada disco mide 14 cm de diámetro, algún material es necesariamente perdido entre cada círculo, pero los fabricantes han descubierto que se pierde aluminio mínimo cuando las hojas son lo suficientemente anchas como para contener dos hileras escalonadas de siete espacios en blanco cada una. Se desperdicia alrededor del 12-14% de la hoja, pero puede reutilizarse como chatarra. Después de cortar el blanco circular, se embute hacia arriba para formar una taza de 8.9 cm de diámetro, **Figura 1.4**.



**Figura 1.4** – A) Fabricación de los discos, B) Embutido de las paredes de los discos de aluminio.

### 1.11.2 REDIBUJANDO LA PIEZA

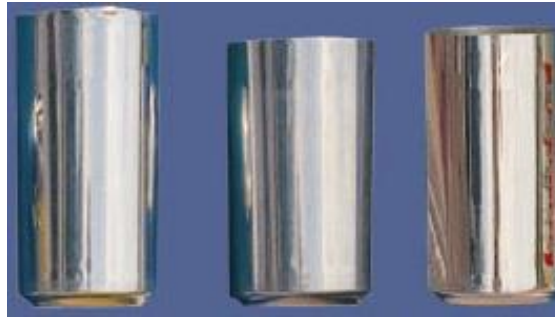
La pieza resultante del proceso inicial se transfiere luego a una segunda máquina, en donde una manga de soporte sostiene la pieza exactamente en su lugar para que un golpe rápidamente aplicado, coloque la taza donde se deforma a un diámetro de aproximadamente 6.6 cm. La altura de la taza aumenta simultáneamente desde la altura inicial de 3.3 cm a 5.7 cm. El golpe empuja la taza contra tres anillos llamados “anillos de planchado” que estiran y adelgazan las paredes de la taza, toda esta operación se realiza en un golpe continuo que toma solo un quinto de segundo para completarse. La taza ahora mide aproximadamente 13 cm de altura. Posteriormente un golpe contra la base de la taza, provoca que la parte inferior se abulte hacia adentro, siendo que esta forma contrarresta la presión del líquido carbonatado que contendrá la lata, como se observa en la **Figura 1.5**.



**Figura 1.5** – A) Formación de la base con la manga de soporte, B) Planchado de las paredes del cuerpo de la lata, C) Formación de un pequeño "domo" para contrarrestar la presión de la bebida carbonatada.

### 1.11.3 RECORTE DE LAS OREJAS

El proceso de estiramiento y planchado deja la lata ligeramente ondulada en la parte superior, estas pequeñas ondas en el metal se llaman "orejas", que son un efecto inevitable de la estructura cristalina de la lámina de aluminio. Las empresas de aluminio han estudiado extensamente este fenómeno, y han podido influir en la colocación y la altura de las orejas al controlar el balanceo de la lámina de aluminio. Sin embargo, algo de material se pierde en esta etapa. Alrededor de un cuarto de pulgada se recorta desde la parte superior de la lata, dejando las paredes superiores rectas y niveladas, como se muestra en la **Figura 1.6**.



**Figura 1.6** – Recorte de las orejas y ajuste a la altura necesaria para la lata de aluminio.

#### 1.11.4 LIMPIEZA Y DECORACIÓN

El proceso de estirado deja la pared exterior de la lata con una superficie lisa y brillante, por lo que no requiere ningún acabado adicional, como el pulido. Después de recortar las orejas, la lata se limpia y luego se imprime con su etiqueta, una vez decorada, se reduce ligeramente en la parte superior para formar un cuello, al cual se le da una pestaña hacia fuera en el borde superior, que se doblará una vez que se haya agregado la tapa, como se observa en la **Figura 1.7**.



**Figura 1.7** – Decoración del cuerpo, formación del cuello y pestaña para agregar la tapa de la lata.

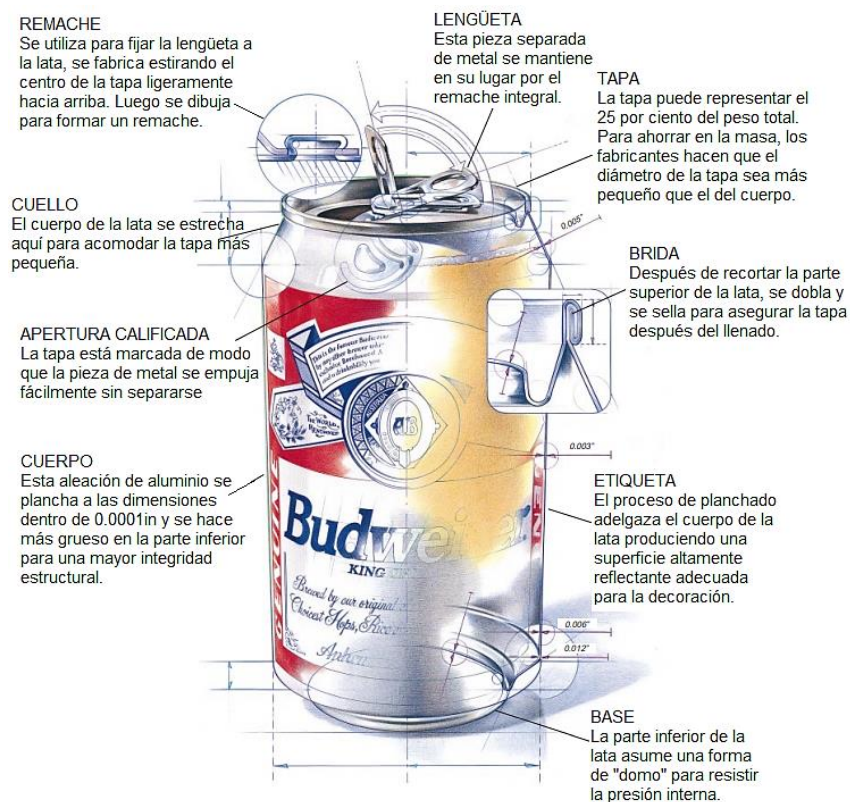
#### 1.11.5 LA TAPA

La tapa está hecha de una aleación diferente que para la base y los costados de la lata. El abultamiento hacia adentro de la lata ayuda a soportar la presión ejercida por el líquido en su interior, pero la tapa plana debe ser más rígida y más fuerte que la base, por lo que está hecha de aluminio con más magnesio y menos manganeso que el resto de la lata. La tapa está cortada a un diámetro de 5.3 cm, más pequeño que el diámetro de 6.6 cm de las

paredes. El centro de la tapa se estira ligeramente hacia arriba con una máquina para formar un remache. La lengüeta de extracción, una pieza de metal separada, se inserta debajo del remache y se fija con ella. Finalmente la tapa se puntúa en una forma de luna de modo que cuando el consumidor tira de la pestaña, el metal se desprenda fácilmente y deje la abertura adecuada. Para asegurarse de que las latas estén hechas correctamente, se verifican automáticamente en busca de grietas y poros.

**1.11.6 RELLENO Y COSTURA**

Después de que se forma el cuello, la lata está lista para llenarse. La lata se mantiene apretada contra el asiento de una máquina de llenado donde se vierte la bebida y se agrega la tapa. La pestaña superior que se formó cuando se le dio a la lata su cuello se dobla alrededor de la tapa y se cierra, en este punto la lata junto con la bebida esta lista para su comercio. En la **Figura 1.8** se muestra las partes esenciales de la lata de bebida de aluminio.



**Figura 1.8** – Lata de bebida de aluminio fabricada por el método de dibujo de 2 piezas y planchado de paredes. [7]

## **1.12 RECUBRIMIENTOS EMPLEADOS EN LATAS DE ALUMINIO**

Los barnices y recubrimientos juegan un papel importante en la protección del envase metálico frente al producto y viceversa, además de la mejora de la apariencia del envase respecto al consumidor, de esta forma pueden clasificarse en recubrimientos interiores y exteriores. El principal recubrimiento que se emplea en la industria alimenticia es el de tipo epoxifenólico y en menor medida el acrílico. A estos compuestos se les puede dar una capa de color para mejorar la apariencia externa, logrando adquirir colores dorados, plateados o blancos (formado a partir de óxido de titanio).

### **1.12.1 RECUBRIMIENTOS INTERIORES**

Los recubrimientos interiores de tipo epoxifenólicos también denominados lacas, son diseñados para resistir durante la fabricación del envase, su uso posterior y para minimizar la interacción posible entre la bebida y el envase durante toda la vida útil del producto envasado. Este tipo de recubrimientos contienen a menudo distintos aditivos en pequeña cantidad cuya presencia mejora determinadas propiedades deseadas como; adherencia, viscosidad, lubricidad, siendo así que las propiedades que se les exigen a estos recubrimientos son inercia química, flexibilidad, resistencia y buena procesabilidad a altas temperaturas (esterilización).

### **1.12.2 RECUBRIMIENTOS EXTERIORES**

Los recubrimientos exteriores se refieren a sustancias que se aplican a la superficie exterior de un envase que pueden ser protectores, decorativos o cumplir ambas funciones al mismo tiempo. Al igual que en el caso de los recubrimientos interiores, éstos pueden contener distintos aditivos (Pigmento de aluminio, ZnO, TiO<sub>2</sub>) que mejoren sus propiedades, en este caso, la adherencia es uno de los principales aspectos a considerar para conseguir un procesado eficaz y sin daños en las líneas de alta velocidad de formación de envases o en las líneas de llenado. Un modelo de recubrimiento exterior comprendería las siguientes capas consecutivas: 1) Capa delgada transparente sobre el metal base, 2) Capa gruesa y sólida coloreada (a menudo blanco), para su posterior impresión [hasta 6 colores] y 3) Barniz transparente para fortalecer el brillo.



**1.13 ESCORIAS**

Las escorias metálicas son una mezcla heterogénea de metal libre con óxidos, nitruros, carburos, boruros, partículas refractarias, metales no disueltos, fundentes, etc. Esta se forma en el proceso de fundición, que incluye la fusión de materia prima, transferencia de metal, procesos de aleación, tratamiento con fundentes, agitación, desgasificación, escoriado y colada. En la fundición de aluminio los residuos con más del 45% de Al se denominan natillas y los que contienen menos de 45% se denominan escoria. La escoria puede también ser clasificada en escoria blanca dada en las fundiciones primarias y escoria negra de fundición secundaria. La escoria blanca puede contener de 20% a 45% de aluminio metálico recuperable, en cambio la escoria negra contiene aluminio metálico de 10% a 20%, además de una mezcla de sales (40–55%) y óxido de aluminio (20–50%). [13]

Los residuos no metálicos al tratar la escoria generada en operaciones de fundición de aluminio secundario a menudo se denominan "salt cake" y pueden contener de 5 a 7% de aluminio metálico residual, 15 a 30% óxido de aluminio, 30 a 55% de cloruro de sodio y 15 a 30% de cloruro de potasio, dependiendo de la composición química de la chatarra a fundir, los fundentes usados, la temperatura de trabajo, la atmósfera en la bóveda del horno y la agitación en el baño líquido. [14]

Los contaminantes orgánicos después de la descomposición normalmente dejan carbono en la escoria salina, si el fundente es insuficiente, la alta concentración de óxidos y otros contaminantes puede llevar a niveles altos de viscosidad en la sal fundida. Una escoria más viscosa mantiene las gotas de metal atrapadas y conduce a una pérdida significativa de metal en la práctica. El carburo de aluminio ( $Al_4C_3$ ) se forma cuando el aluminio líquido está en contacto con el carbono finamente dispersado, originado por la contaminación orgánica de la chatarra como pinturas, recubrimientos plásticos y residuos orgánicos. El uso del fundente promueve la coalescencia del metal suspendido con las gotas de metal y ayuda a separar el metal limpio de la contaminación por óxidos, a altas temperaturas del baño líquido, el fundente se funde y se vuelve oscuro dependiendo de la mezcla de chatarra y la cantidad del fundente. [14]

**1.14 FUNDENTES**

La interacción química de las aleaciones de aluminio fundido con hidrógeno y oxígeno, es la parte imposible de eliminar y que debe ser mantenida dentro de control en cualquier fundición de aluminio que esté buscando la competitividad en un mercado donde los costos y los niveles de calidad son parte del día a día.

Esta interacción con la atmósfera y las condiciones de la chatarra a fundir son los principales generadores de escoria “negra o seca” (producción de aluminio secundario), que no es otra cosa que óxidos de los componentes de la aleación que tienden a atrapar aluminio líquido, además, si no es retirada adecuadamente en los procesos anteriores al vaciado de las piezas, podría ser la causa de inclusiones no metálicas, también la cantidad de esta escoria es un indicador de la cantidad de mermas que se tienen de la carga metálica, el desarrollo de innumerables cantidades de fundentes a lo largo de los últimos 20 años hace necesario que los fundidores de aluminio conozcan las diferentes características de un fundente que dependerán de la parte del proceso donde será utilizado en el manejo del aluminio.

Se conoce como fundentes a los productos utilizados en el tratamiento del metal líquido, están formados por compuestos químicos simples o mezclas de compuestos. En general son sales usadas en forma de polvos granulados o tabletas, los cuales pueden convertirse en líquidos cuando se aplican sobre el metal líquido. En los procesos de fusión principalmente se usan para separar el metal atrapado en la escoria del proceso y evitar la oxidación del metal base. La generación de escoria durante la fusión de chatarra de aluminio está influenciada por el tipo de horno de fusión, el tipo de combustible y quemador a usar, los recubrimientos de la chatarra a fundir, las temperaturas del proceso de fusión y las condiciones iniciales del horno.

Cada fundente tiene una aplicación específica y por lo tanto características bien definidas las cuales se aprovechan para desarrollar la técnica de fusión más apropiada y efectiva. En la fusión y manejo del aluminio líquido, se reconocen 5 tipos principales de fundentes necesarios en todo el proceso de fusión.

**1.14.1 FUNDENTE DE COBERTURA**

La función principal es crear una barrera líquida entre la atmósfera del horno y el aluminio fundido, previniendo la oxidación del metal y ayudar a evitar la absorción de hidrógeno. Una de sus características es su temperatura de fusión que oscila entre los 420 a 600°C. Hoy en día se encuentran en el mercado fundentes de carácter sólido compuestos por mezclas de NaCl y KCl, donde algunos pueden contener adiciones de NaF, CaCl<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub> o KF. Estos forman una buena barrera de protección con la atmósfera de los hornos con poca interacción química con los refractarios reduciendo las pérdidas por oxidación y mostrando un excelente desempeño en la fusión de chatarra de aluminio.

**1.14.2 FUNDENTE DE ESCORIADO**

La función principal es separar el aluminio líquido de la escoria que se encuentra en los hornos al final de la fusión. Esto se lleva a cabo mediante la exotermicidad controlada del fundente, el calor que se genera mejora la viscosidad de la escoria y se produce un efecto de coalescencia que hace que las pequeñas gotas de aluminio escurran formando gotas más grandes que fácilmente se separan de la escoria para integrarse al metal base.

Existen en el mercado infinidad de marcas con características exotérmicas, los fundentes de NaCl y KCl, contienen KNO<sub>3</sub> que reacciona exotérmicamente con el aluminio cuando se calienta, la recomendación es evaluar el fundente considerando el porcentaje de aluminio en la escoria, la cantidad de escoria generada y la compatibilidad química del fundente con la aleación base.

**1.14.3 FUNDENTE DE LIMPIEZA**

Tienen como objetivo principal ayudar a eliminar los óxidos del metal, un fundente diseñado específicamente para la limpieza del metal promueve una escoria menos seca que un fundente de escoreo, ya que su función es reaccionar en el seno del metal. Todos los fundentes deben ser enérgicamente activos con el metal para que se establezca un contacto íntimo y se lleven a cabo los efectos deseados, por lo que se recomienda contar con las herramientas necesarias para llevar a cabo la agitación del fundente al momento de la adición.

**1.14.4 FUNDENTE DE LIMPIEZA DE PAREDES**

Estos fundentes contienen fluoruros dobles ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ ) y  $\text{KNO}_3$  que reacciona con el aluminio generando calor, lo que promueve la penetración de fluoruros en los óxidos para ablandar y ayudar en la eliminación de las aglomeraciones de óxidos sobre las paredes de los hornos que tienden a reducir la capacidad de los hornos y ensuciar más el metal. Para la limpieza de paredes se debe bajar el nivel de metal a manera de dejar libre la línea de escoria para poder aplicar el fundente abajo y arriba de la línea normal de nivel de metal, después de la limpieza se debe retirar perfectamente la escoria y adicionar fundente de cobertura.

**1.14.5 FUNDENTES ESPECIALES**

Existen fundentes especiales que suelen ser inyectados al metal para diversos propósitos, los fundentes para desgasificación compuestos por sales que contienen  $\text{AlCl}_3$  y  $\text{AlF}_3$  comúnmente en forma de tabletas que reaccionan con los gases disueltos en el aluminio, los fundentes de refinación de grano compuestos de sales que contienen titanio y boro ( $\text{K}_2\text{TiF}_6$  y  $\text{KBF}_4$ ) causan la formación de núcleos de  $\text{TiAl}_3$   $\text{TiB}_2$  cuando la fusión del aluminio se enfría promoviendo que los granos de aluminio comiencen a solidificarse en la superficie del núcleo. Las aleaciones Al-Si hipoeutécticas y eutécticas se modifican mediante fundentes que contienen NaF, siendo que una pequeña cantidad de sodio disuelto en las aleaciones refina la estructura de silicio. Algunas otras especialidades son fundentes eliminadores de Mg, eliminadores de Ca y los fundentes libres de Ca o Na.

## 2.1 MATRIZ DE EXPERIMENTOS

Se fabricaron pacas de aluminio a partir de latas de bebida de aluminio, con pintura y con pintura parcialmente quemada. Para el proceso de reciclado de pacas se fundieron 5Kg de lingotes con la composición de aluminio reciclado de bote de bebida y un total de 10Kg de pacas (carga) manteniendo la superficie del metal líquido cubierta con fundente de cobertura, esto para completar una prueba. Cada prueba de fusión se realizó de acuerdo a la **Tabla 2.1**, por triplicado usando fundente, completando 12 fusiones en total, esto con la finalidad de obtener la eficiencia del reciclado de aluminio y el grado de oxidación de los principales elementos aleantes.

**Tabla 2.1** – Matriz de experimentos para el reciclado de latas de bebida de aluminio.

Tipo de paca	Condición	Pruebas de Fusión		
Pacas con recubrimientos	Sin precalentar	Fusión 1	Fusión 2	Fusión 3
Pacas con recubrimientos quemados		Fusión 4	Fusión 5	Fusión 6
Pacas con recubrimientos	Con precalentamiento	Fusión 7	Fusión 8	Fusión 9
Pacas con recubrimientos quemados		Fusión 10	Fusión 11	Fusión 12

\*Cada experimento se realizó por triplicado, siendo en total 12 fusiones.

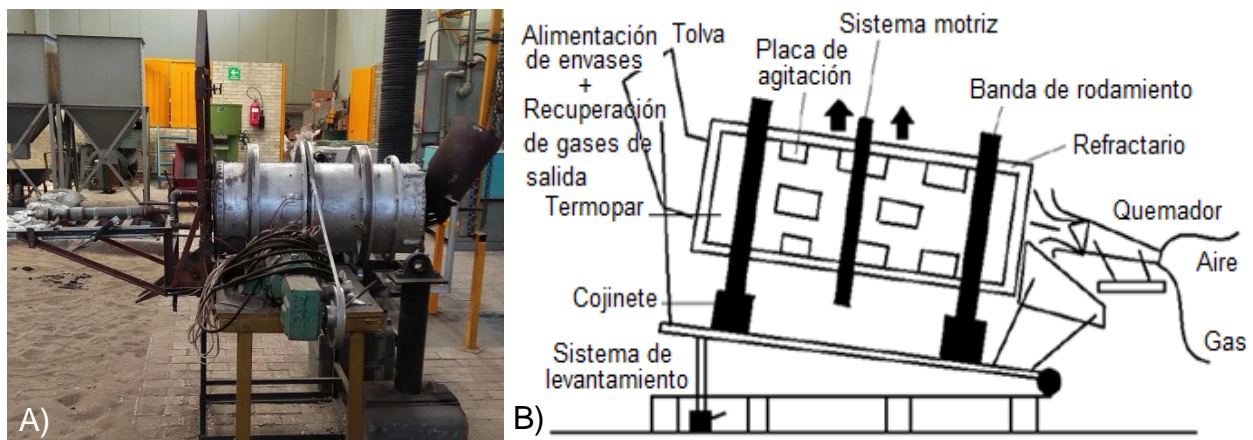
## 2.2 PREPARACIÓN DE PACAS DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO CON PINTURA

En una prensa hidráulica como se muestra en la **Figura 2.2A**, se comprimieron un total de 40 latas con recubrimiento (pintura y laca) con un peso aproximado de 0.5Kg, aplicando una presión de 35 a 40 toneladas de esta forma se prepararon 60Kg de pacas para llevar a cabo las pruebas en el horno de reverbero.

## 2.3 PREPARACIÓN DE LA CARGA DEL BOTE DE ALUMINIO EN HORNO ROTATORIO

Se instrumentó un horno rotatorio con un termopar tipo K en la salida de los gases de combustión, como se observa en la **Figura 2.1**, para controlar la temperatura de quemado de latas de bebida de aluminio mediante quemadores de gas LP, en el intervalo de temperaturas de 536°C a 544°C, controlando el flujo de gas y aire dado por los quemadores.

Encender el extractor de gases y colocar la manguera de extracción justo arriba de la tolva de alimentación de latas para asegurar la extracción de los gases de combustión. Se introdujeron aproximadamente 10 a 12 latas en la tolva de alimentación, que atravesaron la longitud del horno rotatorio hasta la salida llevándose a cabo la quema de los recubrimientos de las latas por efectos de los quemadores, posteriormente se inclinó el horno rotatorio con ayuda del sistema de levantamiento y se vació el horno rotatorio, las latas de bebida de aluminio con la pintura quemada se recolectó y almacenó en tambos para su posterior compactación en la prensa hidráulica.



**Figura 2.1** – A) Horno rotatorio usado para la quema parcial de la pintura de latas de bebida de aluminio, B) Esquema de la sección transversal del horno rotatorio.

## 2.4 PREPARACIÓN DE PACAS DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO CON PINTURA PARCIALMENTE QUEMADA

En una balanza se pesaron aproximadamente 0.5Kg de aluminio con pintura parcialmente quemada obtenida por el horno rotatorio y mediante una prensa hidráulica como se observa en la **Figura 2.2A** y un cilindro de acero se aplicó una presión de 35 a 40 toneladas se obtuvieron pacas como se observa en la **Figura 2.2B,C**, de esta forma se prepararon 60Kg de pacas con pintura parcialmente quemada para llevar a cabo las pruebas en el horno de reverbero.



**Figura 2.2** – A) Prensa Hidráulica usada para fabricar pacas, B) Pacas de latas con pintura, C) Pacas de latas con pintura parcialmente quemada.

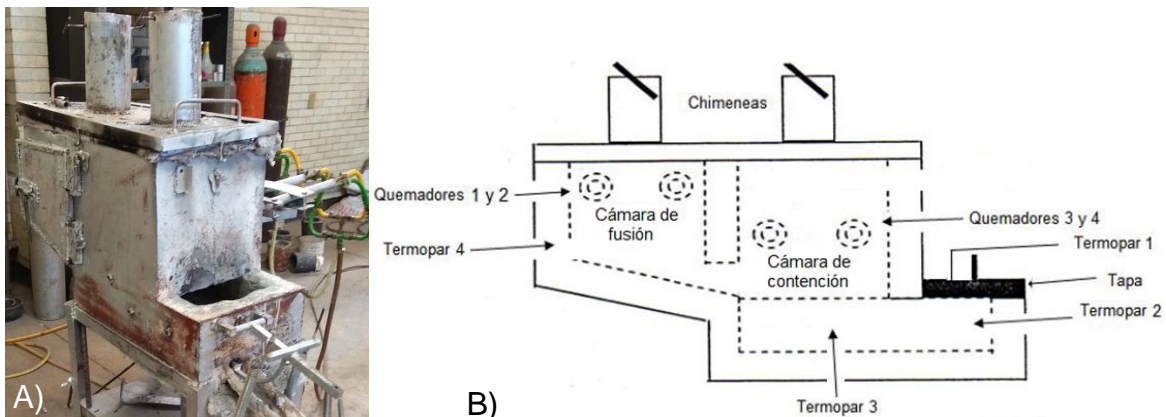
## 2.5 INSTRUMENTACIÓN DEL HORNO DE REVERBERO

Se instrumentó el horno de reverbero con 4 termopares tipo K como se observa en la **Figura 2.3A,B** mediante un adquisidor de datos y una computadora, el termopar 1 se usó para monitorear la temperatura del metal líquido, los demás termopares se colocaron de manera que tengan contacto con el ladrillo refractario con el fin de monitorear y controlar el calentamiento de cada una de las secciones del horno.

## 2.6 FUSIÓN DE LA PACA DE BEBIDA DE ALUMINIO EN EL HORNO DE REVERBERO

Para el inicio de la fusión, se encendieron los quemadores 1 y 2 al mismo tiempo ajustando los flujos de aire y gas para conseguir una flama de color azul claro, se repitió el procedimiento para los quemadores 3 y 4 para conseguir el mismo tipo de flama. Se mantuvieron cerradas parcialmente las chimeneas y la tapa de la salida de la cámara de contención para homogeneizar el calentamiento de las cámaras del horno. Cuando se registraron temperaturas en el intervalo de trabajo de 600°C a 700°C en los termopares 2, 3 y 4 se cargaron 6 lingotes de aluminio cada 7 minutos, los cuales son lingotes de

aluminio reciclado de bote de bebida, (cada lingote con un peso aproximado de 0.3 kg), estos se fundieron en la cámara de fusión y por la inclinación que tiene el piso de esta cámara, el metal pasó a la cámara de contención, se fundieron 5 Kg de lingote inicialmente para tener un 30% de su capacidad de metal fundido en la cámara de contención antes de iniciar con el reciclado del bote de bebida de aluminio, se homogeneizó el aluminio líquido con un rastrillo de acero pintado con zirconia y se tomó una muestra del metal líquido para obtener una probeta mediante un molde permanente para realizar análisis químico. Posteriormente se cubrió la superficie del metal líquido (700°C-800°C) con 300 g de fundente de cobertura, el cual se adicionó con ayuda de una paleta de acero recubierta con pintura de zirconia procurando cubrir toda la superficie expuesta del metal líquido, siendo el tiempo de contacto del fundente con el baño fundido en promedio de 7 minutos. Se diseñó una hoja de control como se observa en la **Tabla 2.2**, en la cual se registraron datos como: temperatura de las cámaras del horno, temperatura del metal líquido y de vaciado, número de canal para los termopares, hora de cada registro y algunas observaciones que se presenten durante el reciclado de las pacas de latas de bebida de aluminio.



**Figura 2.3** – A) Horno de reverbero usado en la fusión de las pacas de aluminio, B) Esquema de la sección transversal del horno de reverbero.



**Tabla 2.2** – Hoja de control para el reciclado del bote de aluminio en un horno de reverbero.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERBERO						
	USUARIO:				FECHA:	
	MATERIAL:					
	PRUEBA:					
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP DEL Al LÍQUIDO(°C)<sup>1</sup></b>	<b>T.INT(°C) C.CONT<sup>2</sup></b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN<sup>3</sup></b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS<sup>4</sup></b>	
<b>HORA</b>	<b>Pacas sin precalentar/pacas con precalentamiento</b>					

<sup>1</sup>Temperatura del Aluminio líquido.

<sup>2</sup>Temperatura del refractario de la cámara de contención.

<sup>3</sup>Temperatura del refractario de la cámara de fusión.

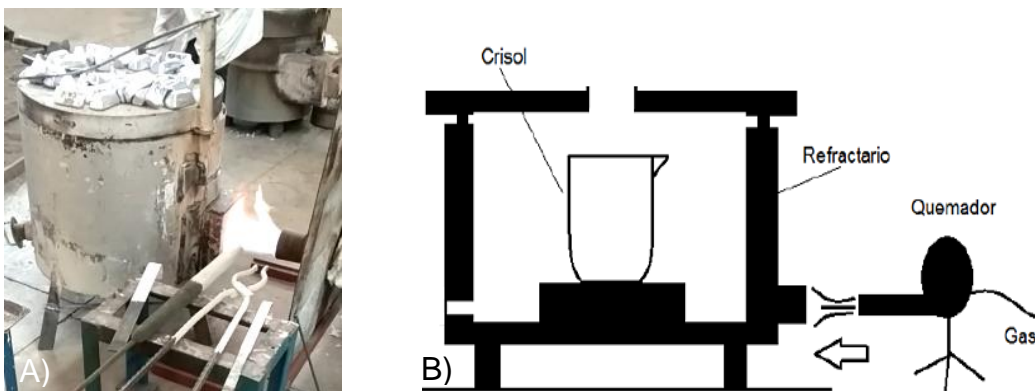
<sup>4</sup>Temperatura del refractario de la cámara de fusión, sección de atrás.

Con los 5 Kg de metal líquido en la cámara de contención y el fundente de cobertura, se inició con el reciclado de las pacas de aluminio, se introdujo en la cámara de fusión 1 Kg de paca de lata de bebida de aluminio a la cual se le dio un tiempo de residencia para su fusión de 6 minutos, posteriormente con el herramental adecuado se pasó el aluminio hacia la cámara de fusión en donde el rastrillo de acero pintado con zirconia abrió una parte de la capa de fundente/escoria para que el material entre en contacto directo con el aluminio líquido. El aluminio fundido se homogeneizó con el rastrillo de acero, y se tomó nuevamente una muestra para análisis químico, el herramental en forma de rastrillo se usó constantemente para extender la capa de fundente/escoria sobre la superficie expuesta del metal líquido. Esto se repitió hasta completar un total de 10 cargas (10 Kg) de pacas de bebida de aluminio, manteniendo la cantidad de fundente inicial. Al término de la fusión de los 10 Kg de pacas de bote de bebida de aluminio se retiró toda la escoria de la superficie del metal líquido para vaciar el aluminio líquido del horno de reverbero.

## 2.7 VACIADO DEL HORNO DE REVERBERO

Aproximadamente en la quinta carga que se introdujo al horno de reverbero se procedió a encender el quemador para calentar el crisol de SiC, como se observa en la **Figura 2.4**, que se usó para recibir el metal líquido del horno de reverbero. Cuando el crisol alcanzó una temperatura de 800°C se sacó del horno y se colocó debajo del canal de salida del metal líquido del horno de reverbero. Se procedió a bascular el horno de reverbero con un sistema hidráulico, posteriormente se retiró el tapón de la salida del metal líquido, el metal fluyó por la canaleta hacia el crisol precalentado, finalmente se vació el aluminio líquido en lingoteras previamente preparadas. Para aprovechar la energía térmica del horno de reverbero, se realizaron dos fusiones más para tener por triplicado cada experimento. Se fundieron nuevamente 5Kg de lingote, que se obtuvo de la primera fusión y se mantuvo la técnica de fusión utilizada. Estas condiciones se aplicaron de igual manera para el reciclado de pacas con pintura parcialmente quemada.

Considerando un precalentamiento de las pacas de bebida de aluminio como variable dada en la matriz de experimentos de la **Tabla 2.1**, las condiciones de la técnica de fusión empleada se mantuvieron constantes a excepción de un precalentamiento de 5 minutos por 1 Kg paca de aluminio (con pintura y con pintura parcialmente quemada) que se adicionaban al horno de reverbero en cada prueba de fusión.



**Figura 2.4** – A) Horno de crisol usado para vaciar el horno de reverbero, B) Esquema de la sección transversal del horno de crisol.

**2.8 ANÁLISIS QUÍMICO**

Durante el proceso de fusión de las pacas de botes de bebida de aluminio se tomaron muestras de metal líquido. La primera se tomó al fundirse los primeros 5Kg de lingotes de aluminio, las siguientes muestras de aluminio se tomaron cada vez que se fundía 1 kg de aluminio de paca de bote de bebida, pero antes de tomar la muestra se homogeneizaba el metal líquido con el herramental cubierto con pintura de zirconio, esto se realizó hasta tener 15 Kg de aluminio fundidos en la cámara de contención del horno de reverbero. Las probetas de aluminio para el análisis químico se prepararon mediante desbaste en una lijadora de banda, y el análisis químico se realizó en un espectrómetro de masas, marca SPECTRO-LAB modelo M8.

### 3.1 DETERMINACIÓN DEL PESO Y LOS ELEMENTOS APORTADOS POR LAS LATAS DE ALUMINIO

Se realizó el análisis de la pérdida de peso de latas que se sometieron a la quema parcial de los recubrimientos (interior y exterior) en un horno rotatorio en el intervalo de temperaturas de 536°C a 544°C durante 5 minutos, además se comparó con el peso de latas sin tratamiento en el horno de reverbero, esto para poder cuantificar el % de pérdida de los recubrimientos y el % de aluminio por lata que se espera recuperar, esto para estimar la eficiencia del proceso de reciclado de latas de bebida de aluminio, los resultados se muestran en la **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.1** – Pérdida de peso en el recubrimiento de latas de bebida de aluminio.

Lata	Lata con pintura		Lata con pintura parcialmente quemada		Aluminio recuperado por lata [%]	Recubrimiento perdido por lata [%]
	Cuerpo [g]	Tapa [g]	Cuerpo [g]	Tapa [g]		
1	10.56	3.10	10.34	3.11	98.5	1.5
2	10.46	2.58	9.950	2.18	93.0	7.0
3	10.80	2.94	10.22	2.87	95.3	4.7
4	10.58	3.03	10.02	2.85	94.6	5.4
5	11.55	2.90	10.45	2.85	92.1	7.9
Promedio	10.79	2.91	10.197	2.77	94.7	5.3

**Tabla 3.2** – Cantidad de elementos aportados por la lata de bebida de aluminio

Elemento	Composición Teórica [%]		Cantidad aportada [g]		Cantidad total del elemento [g]	Total del elemento en lata [%]
	Cuerpo	Tapa	Cuerpo	Tapa		
Fe	0.7	0.35	0.07137	0.0097	0.0811	0.6251
Mg	1.05	4.5	0.10703	0.1247	0.2318	1.7871
Ti	0.1	0.1	0.01019	0.0027	0.0130	0.1254
Mn	1.25	0.35	0.12745	0.0097	0.1371	1.0576

### 3.2 EFICIENCIAS OBTENIDAS DEL PROCESO DE RECICLADO

Con el propósito de determinar la eficiencia del proceso de reciclado de latas de bebida de aluminio, de acuerdo a la matriz de experimentos dada en la **Tabla 2.1**, se presentan ecuaciones que relacionan cada uno de los productos obtenidos al final de cada fusión.

$$\%Escoria = \frac{(Masa\ escoria) * 100}{Carga\ Total} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\%Eficiencia\ Al = \frac{(Masa\ aluminio\ recuperado) * 100}{Carga\ Total} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\%Mezcla\ \frac{Metal}{Escoria} = \frac{\left(Masa\ \frac{Metal}{escoria}\right) * 100}{Carga\ Total} \quad \text{Ecuación 3}$$

Los resultados de las fusiones se presentan en las **Tablas 3.3, 3.4**.

**Tabla 3.3** - Eficiencias obtenidas de la fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, sin precalentamiento.

Fusión	Carga Total [Kg]	Aluminio Recuperado [Kg]	Escoria [Kg]	Mezcla Metal/Escoria [Kg]	Escoria [%]	Eficiencia [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
1	15.90	12.01	3.45	0.187	21.70	75.58	1.18
2	15.87	12.68	2.71	0.277	17.06	79.95	1.74
3	15.51	12.34	2.76	0.15	17.78	79.60	0.95
Promedio	15.76	12.35	2.97	0.20	18.85	78.38	1.29

**Tabla 3.4** - Eficiencias obtenidas de la fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento.

Fusión	Carga Total [Kg]	Aluminio Recuperado [Kg]	Escoria [Kg]	Mezcla Metal/Escoria [Kg]	Escoria [%]	Eficiencia [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
4	15.75	12.89	2.41	0.291	15.30	81.86	1.85
5	15.38	12.68	2.48	0.180	16.15	82.41	1.17
6	15.70	12.18	2.33	0.40	19.15	77.56	2.55
Promedio	15.61	12.58	2.41	0.29	16.87	80.61	1.86

Para conservar las variables del proceso de reciclado dado por la técnica de fusión empleada así como la oxidación del aluminio líquido, el precalentamiento de las pacas se realizó colocando las dos pacas (1Kg) justo en la abertura de la tapa de la cámara de contención durante 5 minutos, entre cada adición de carga a la cámara de fusión. Las eficiencias obtenidas considerando variable con precalentamiento de la paca de aluminio, se muestran en las **Tablas 3.5 y 3.6**.

**Tabla 3.5** - Eficiencias obtenidas de la fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, con precalentamiento.

Fusión	Carga Total [Kg]	Aluminio Recuperado [Kg]	Escoria [Kg]	Mezcla Metal/Escoria [Kg]	Escoria [%]	Eficiencia [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
7	15.67	12.40	3.17	0.19	20.22	79.12	1.21
8	16.14	11.89	3.75	0.23	23.20	73.68	1.42
9	16.01	12.53	3.32	0.29	20.72	78.29	1.79
Promedio	15.94	12.27	3.41	0.24	21.38	77.03	1.47

**Tabla 3.6** - Eficiencias obtenidas de la fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, con precalentamiento.

Fusión	Carga Total [Kg]	Aluminio Recuperado [Kg]	Escoria [Kg]	Mezcla Metal/Escoria [Kg]	Escoria [%]	Eficiencia [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
10	16.41	12.86	3.30	0.18	20.14	78.40	1.10
11	16.25	12.72	3.19	0.22	19.64	78.26	1.32
12	16.23	12.91	3.10	0.20	19.08	79.53	1.25
Promedio	16.30	12.83	3.20	0.20	19.02	78.73	1.23

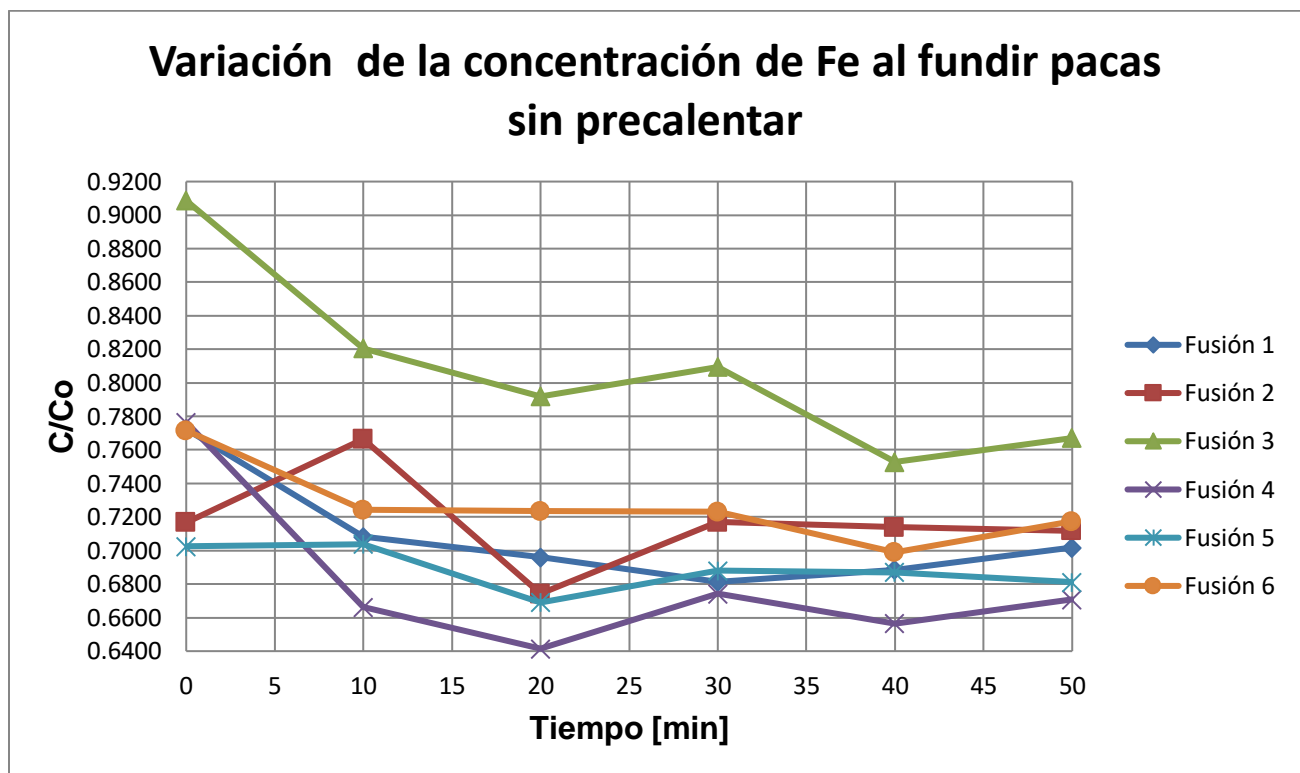
### 3.3 OXIDACIÓN DE LOS ELEMENTOS ALEANTES

Para conocer el cambio de composición química durante el reciclado del bote de bebida de aluminio en el horno de reverbero en las fusiones de pacas de lata con pintura y con pintura parcialmente quemada, se establecen valores adimensionales que ayudan a comparar estas dos variables en el reciclado de botes de aluminio en el horno de reverbero, como se muestra en la **Ecuación 4**. Siendo así  $C$  el porcentaje del elemento de interés dado por cada una de las probetas de aluminio del muestreo del material durante la fusión de las pacas de latas de bebida de aluminio y  $C_o$  es el porcentaje promedio de norma de la lata de aluminio dado en la **Tabla 3.2**.

$$\frac{C}{C_o} = \frac{\text{Porcentaje del elemento en cada muestra obtenida}}{\text{Porcentaje del elemento teórico calculado (Tabla 3.2)}} \quad \text{Ecuación 4}$$

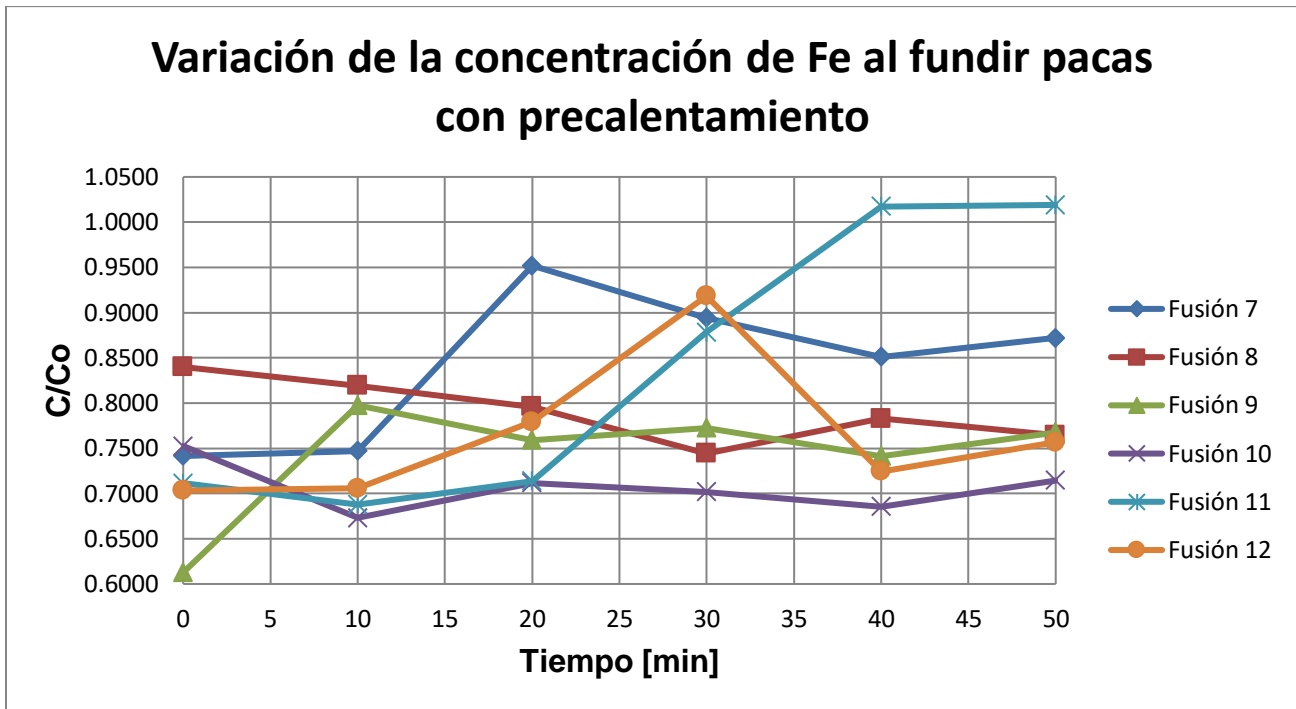
### 3.3.1 EL HIERRO COMO IMPUREZA

El valor de  $C_o$  a comparar contra el contenido de Fe en cada una de las probetas de aluminio obtenidas es de 0.6251, con esto y como se muestra en la **Ecuación 4**, se obtienen las **Figuras 3.1** y **3.2** para el cambio de concentración de este elemento durante las pruebas de fusión. En la **Tabla 3.7** se presenta el cambio de concentración total dado desde el inicio hasta el final de cada prueba de fusión, dando como valores positivos una pérdida y en valores negativos se tiene una ganancia de este elemento.



**Figura 3.1** – Cambio de concentración del Fe con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento en horno de reverbero.





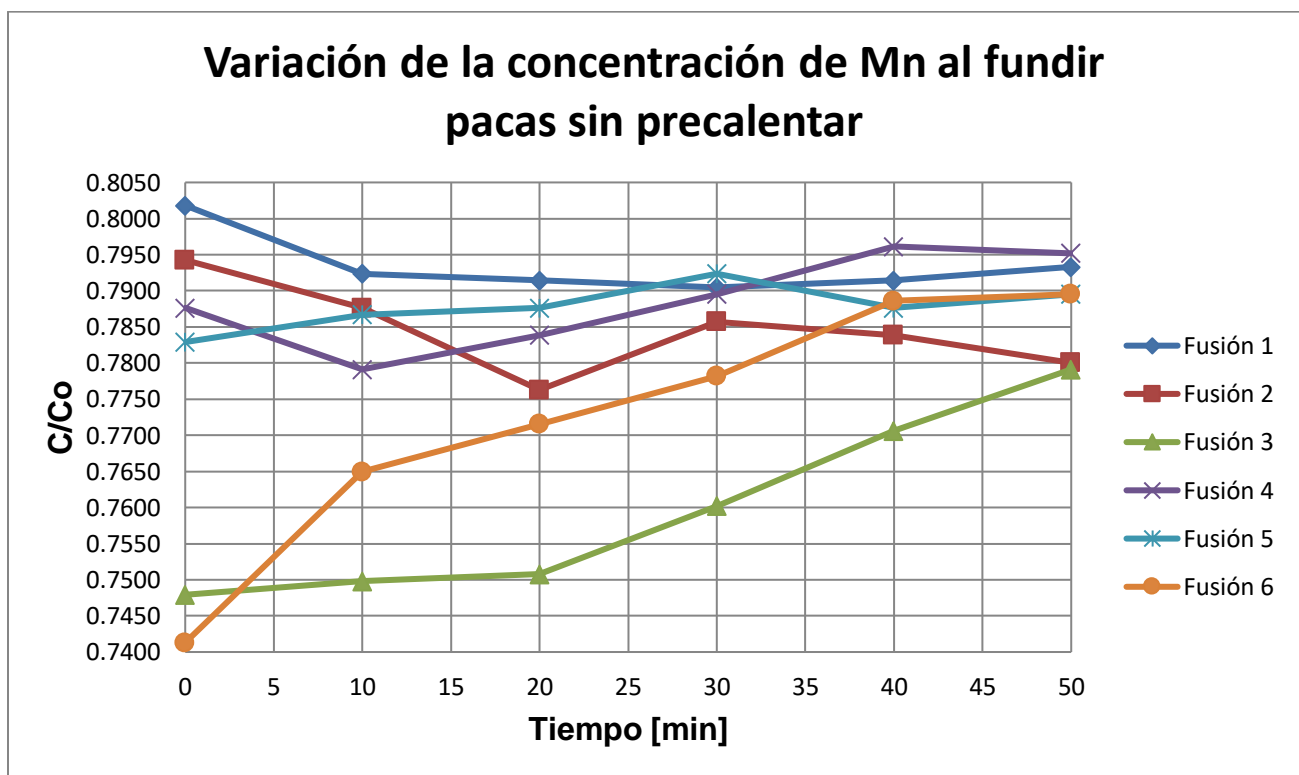
**Figura 3.2** – Cambio de concentración del Fe con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, con precalentamiento en horno de reverbero.

**Tabla 3.7** - Diferencia de concentración adimensional del hierro para el reciclado de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada.

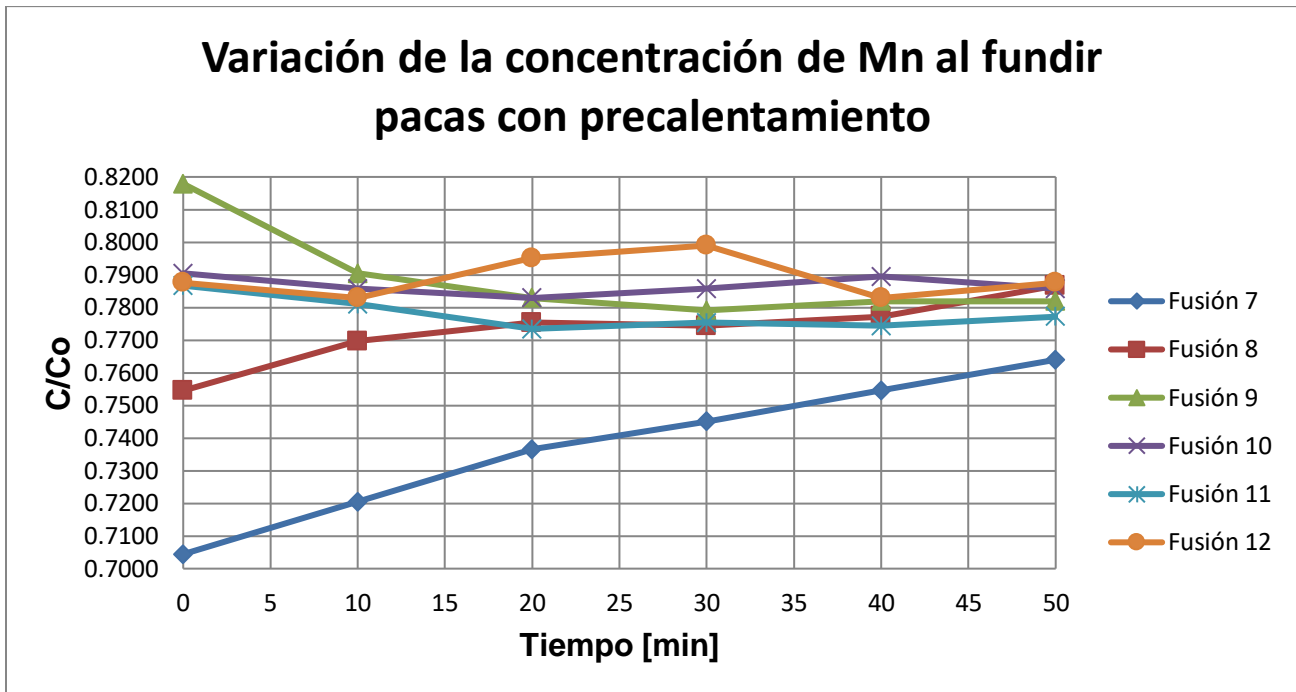
Pacas sin precalentar			
Fusión	Inicio	Final	Diferencia
1	0.7724	0.7016	0.0708
2	0.7167	0.7119	0.0048
3	0.9087	0.7672	0.1415
4	0.7765	0.6708	0.1057
5	0.7024	0.6812	0.0212
6	0.7716	0.7173	0.0543
Pacas con precalentamiento			
7	0.7415	0.8719	-0.1304
8	0.8399	0.7645	0.0754
9	0.6127	0.7677	-0.1550
10	0.7525	0.7146	0.0379
11	0.7114	1.0190	-0.3076
12	0.7032	0.7535	-0.0503

### 3.3.2 EL MANGANESO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

El valor de  $Co$  a comparar contra el contenido de  $Mn$  en cada una de las probetas de aluminio obtenidas es de 1.0576, con esto y como se muestra en la **Ecuación 4**, se obtienen las **Figuras 3.3** y **3.4** para el cambio de concentración de este elemento durante las pruebas de fusión. En la **Tabla 3.8** se presenta el cambio de concentración total dado desde el inicio hasta el final de cada prueba de fusión, dando como valores positivos una pérdida y en valores negativos se tiene una ganancia de este elemento.



**Figura 3.3** – Cambio de concentración del  $Mn$  con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento en horno de reverbero.



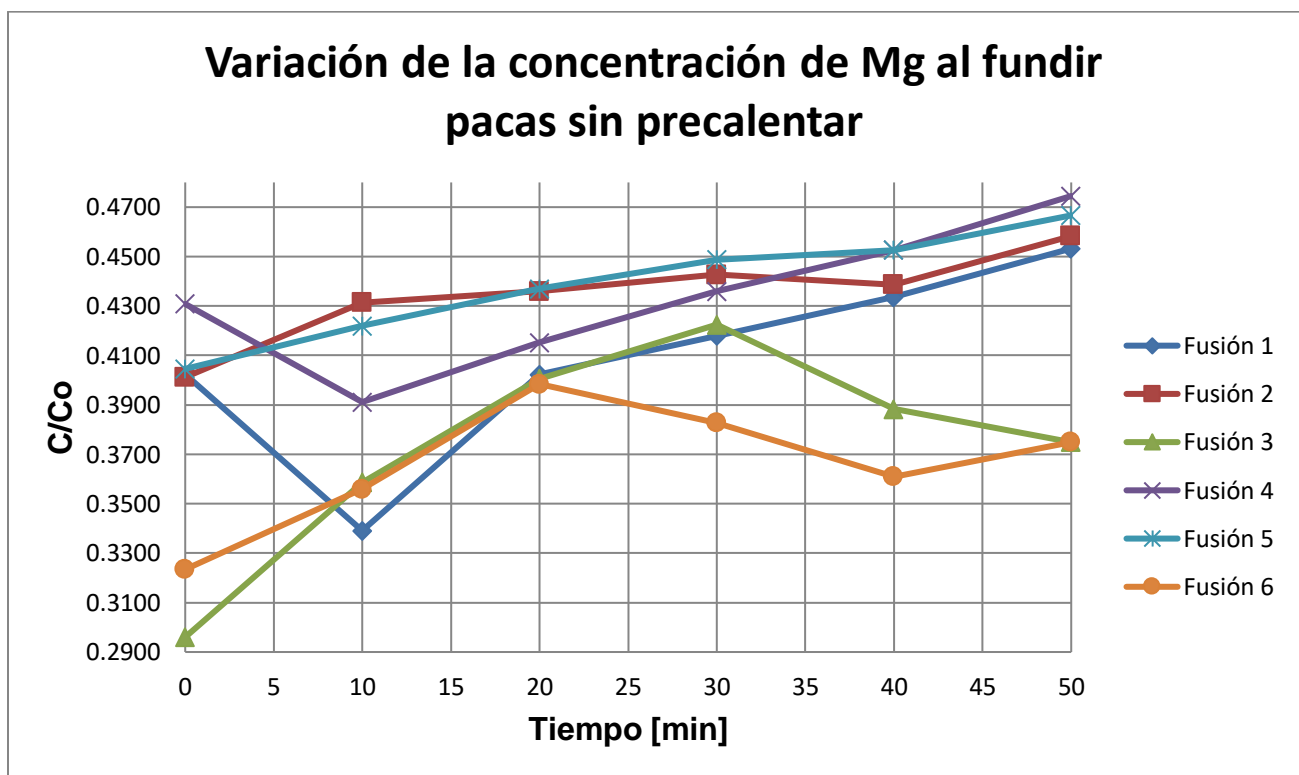
**Figura 3.4** – Cambio de concentración del Mn con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, con precalentamiento en horno de reverbero.

**Tabla 3.8** - Diferencia de concentración adimensional del manganeso para el reciclado de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada.

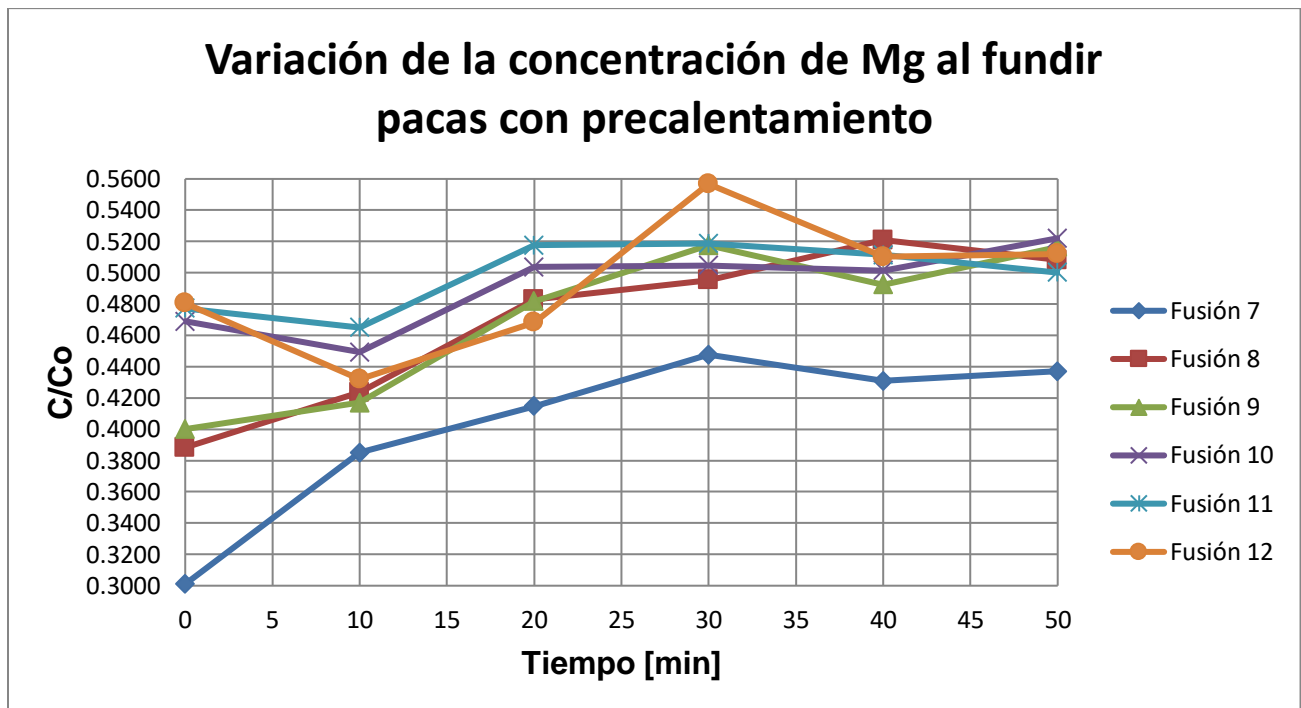
Pacas sin precalentar			
Fusión	Inicio	Final	Diferencia
1	0.8018	0.7933	0.0085
2	0.7943	0.7801	0.0142
3	0.7479	0.7791	-0.0312
4	0.7876	0.7952	-0.0076
5	0.7829	0.7895	-0.0066
6	0.7413	0.7895	-0.0482
Pacas con precalentamiento			
7	0.7044	0.7640	-0.0596
8	0.7545	0.7867	-0.0322
9	0.8179	0.7820	0.0359
10	0.7905	0.7857	0.0048
11	0.7867	0.7772	0.0095
12	0.7876	0.7876	0

### 3.3.3 OXIDACIÓN DEL MAGNESIO

El valor de  $C_o$  a comparar contra el contenido de Mg en cada una de las probetas de aluminio obtenidas es de 1.7871, con esto y como se muestra en la **Ecuación 4**, se obtienen las **Figuras 3.5** y **3.6** para el cambio de concentración de este elemento durante las pruebas de fusión. En la **Tabla 3.9** se presenta el cambio de concentración total dado desde el inicio hasta el final de cada prueba de fusión, dando como valores positivos una pérdida y en valores negativos se tiene una ganancia de este elemento.



**Figura 3.5** – Cambio de concentración del Mg con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento en horno de reverbero.



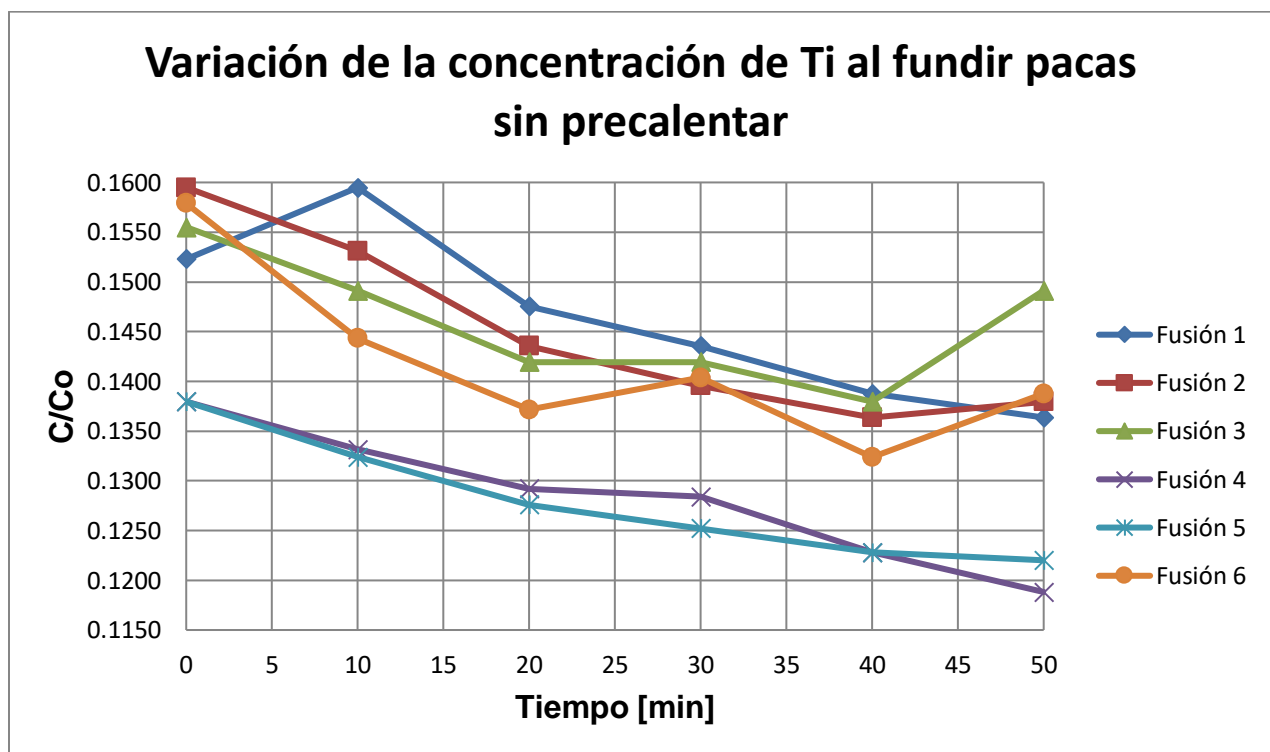
**Figura 3.6** – Cambio de concentración del Mg con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, con precalentamiento en horno de reverbero.

**Tabla 3.9** - Diferencia de concentración adimensional del magnesio para el reciclado de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada.

Pacas sin precalentar			
Fusión	Inicio	Final	Diferencia
1	0.4033	0.4532	-0.0499
2	0.4012	0.4583	-0.0581
3	0.2960	0.3729	-0.0769
4	0.4309	0.4745	-0.0436
5	0.4046	0.4667	-0.0621
6	0.3234	0.3749	-0.0515
Pacas con precalentamiento			
7	0.3010	0.4370	-0.1360
8	0.3883	0.5081	-0.1198
9	0.4001	0.5165	-0.1164
10	0.4689	0.5221	-0.0532
11	0.4773	0.5003	-0.0230
12	0.4807	0.5120	-0.0313

### 3.3.4 EL TITANIO EN EL RECICLADO DE ALUMINIO

El valor de  $C_o$  a comparar contra el contenido de Ti en cada una de las probetas de aluminio obtenidas es de 0.1254, con esto y como se muestra en la **Ecuación 4**, se obtienen las **Figuras 3.7** y **3.8** para el cambio de concentración de este elemento durante las pruebas de fusión. En la **Tabla 3.10** se presenta el cambio de concentración total dado desde el inicio hasta el final de cada prueba de fusión, dando como valores positivos una pérdida y en valores negativos se tiene una ganancia de este elemento.



**Figura 3.7** – Cambio de concentración del Ti con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento en horno de reverbero.

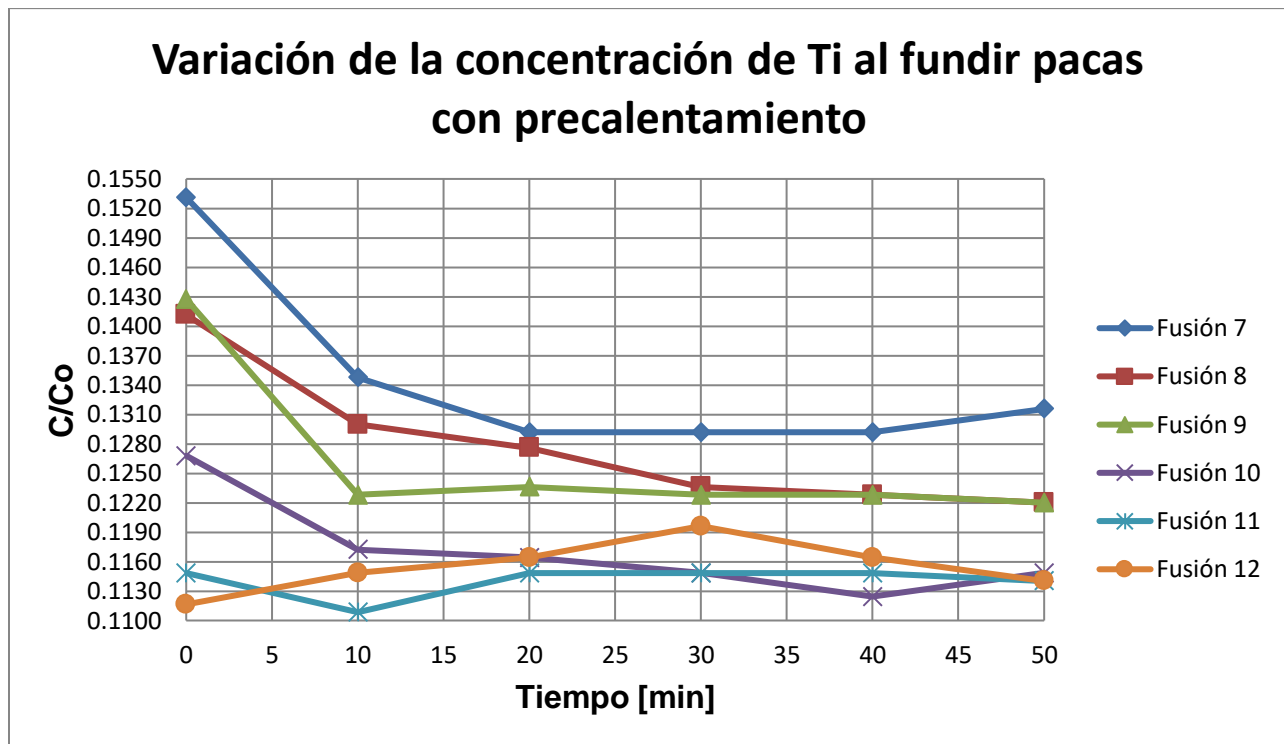


Figura 3.8 – Cambio de concentración del Ti con respecto al tiempo en la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, con precalentamiento en horno de reverbero.

Tabla 3.10 - Diferencia de concentración adimensional del titanio para el reciclado de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada.

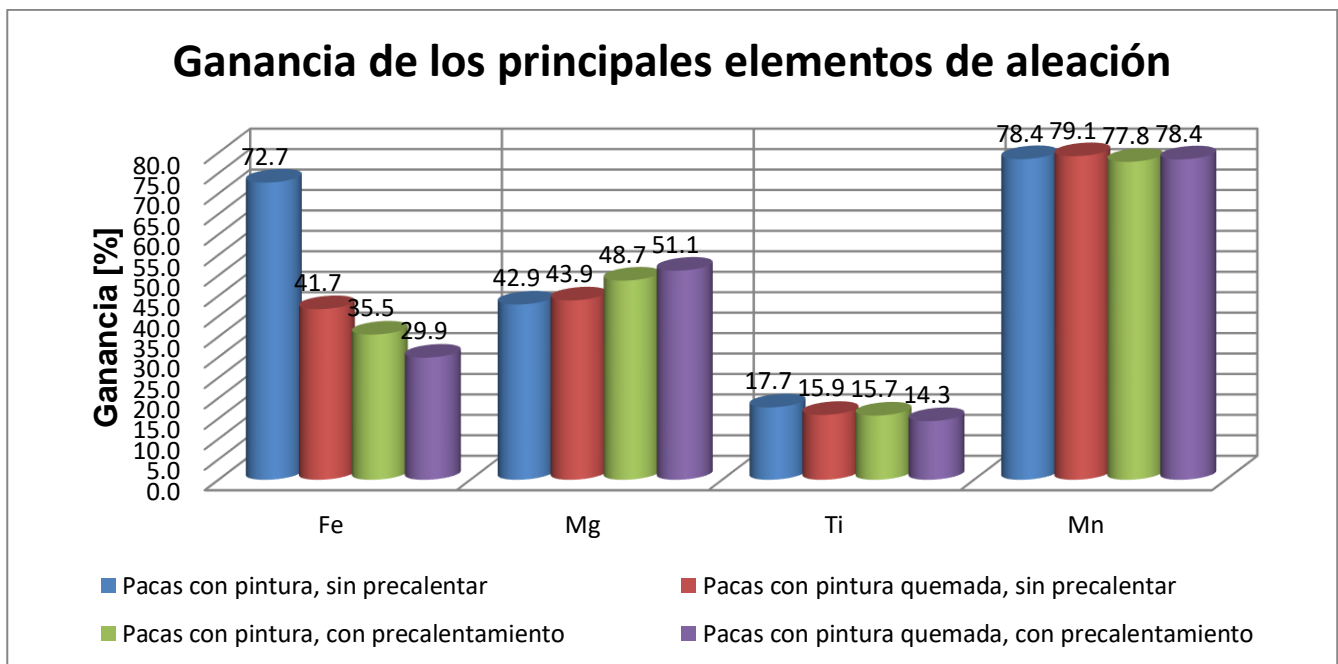
Pacas sin precalentar			
Fusión	Inicio	Final	Diferencia
1	0.1523	0.1364	0.0159
2	0.1595	0.1380	0.0215
3	0.1555	0.1491	0.0064
4	0.1380	0.1188	0.0192
5	0.1380	0.1220	0.0160
6	0.1579	0.1388	0.0191
Pacas con precalentamiento			
7	0.1531	0.1316	0.0215
8	0.1411	0.1220	0.0191
9	0.1427	0.1220	0.0207
10	0.1268	0.1148	0.0120
11	0.1148	0.1140	0.0008
12	0.1116	0.1140	-0.0024

3.4 GANANCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

La ganancia de los principales elementos de aleación se obtuvo usando la aportación real de cada elemento dado por la lata de bebida de aluminio, **Tabla 3.2**, y el promedio de las composiciones finales de cada prueba de reciclado de pacas obtenida de las muestras de aluminio que se analizaron por espectroscopía de emisión óptica.

**Tabla 3.11** - Ganancia de los elementos de aleación del reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio.

Condición	Tipo de paca	Ganancia [%]			
		Fe	Mg	Ti	Mn
Sin precalentamiento	Pacas con pintura	72.7	42.9	17.7	78.4
	Pacas con pintura quemada	41.7	43.9	15.9	79.1
Con precalentamiento	Pacas con pintura	35.5	48.7	15.7	77.8
	Pacas con pintura quemada	29.9	51.1	14.3	78.4

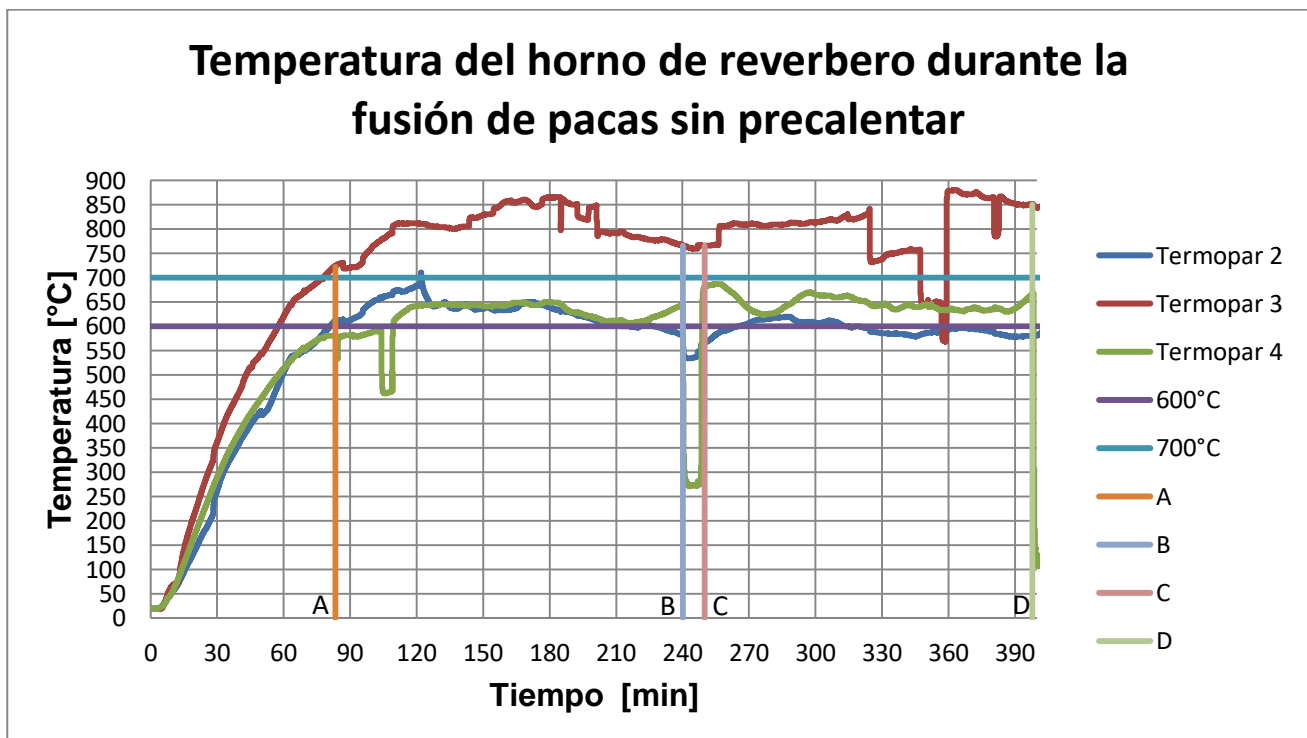


**Figura 3.9** - Gráfica de la ganancia de Fe, Mg, Ti y Mn durante el reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio.

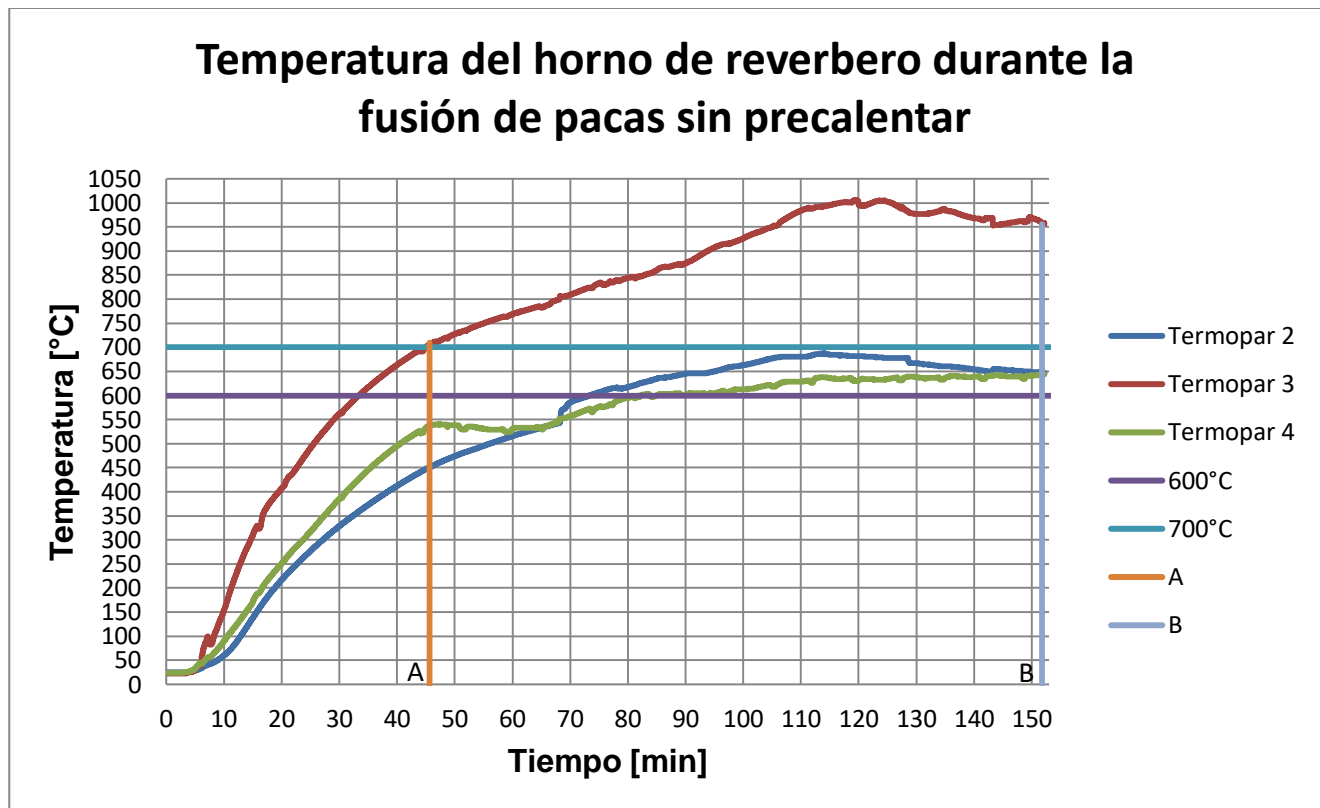


### 3.5 CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL HORNO DE REVERBERO

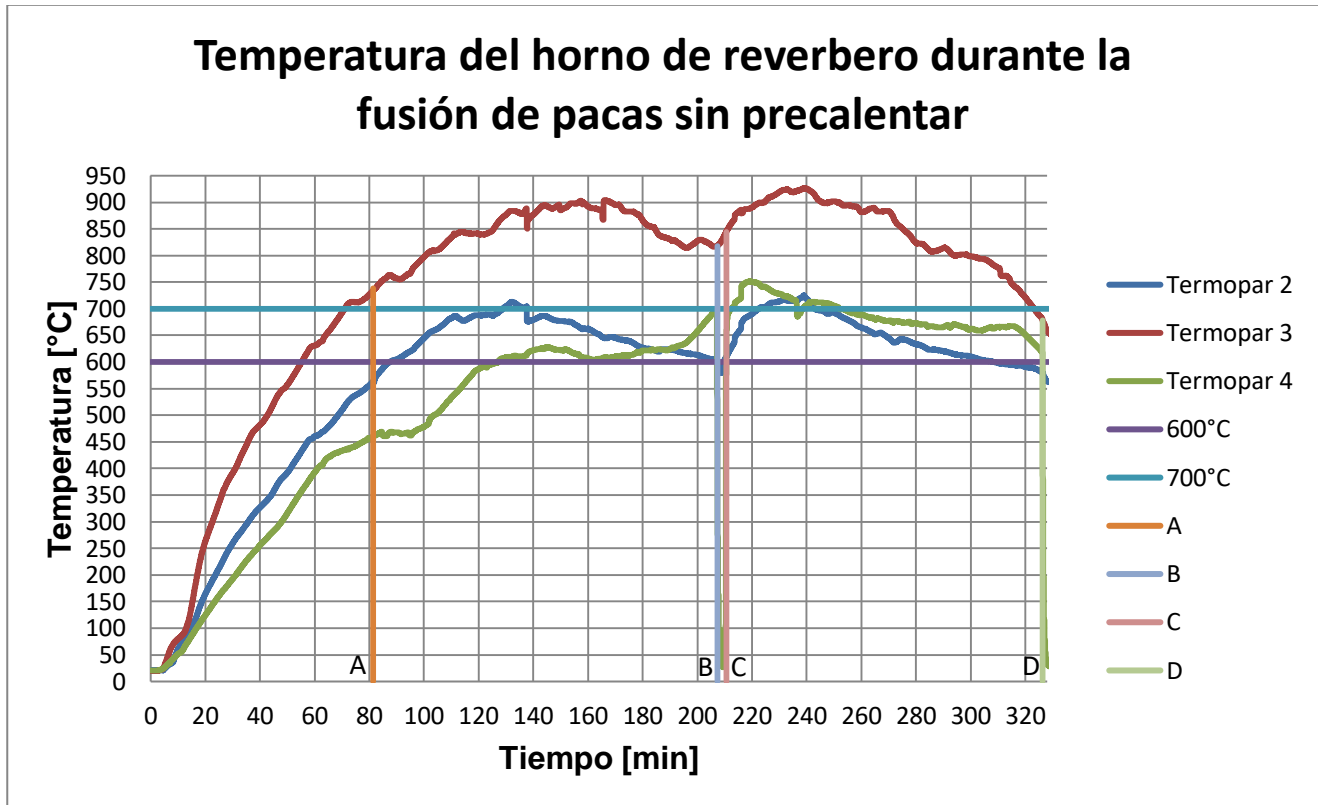
A continuación se muestra de la **Figura 3.10** a la **Figura 3.15** las curvas de calentamiento de la cámara de fusión y la cámara de contención del horno de reverbero durante la fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura y con pintura parcialmente quemada de acuerdo a la posición de los termopares, como se muestra en la **Figura 2.3B**, en ellas se aprecian dos líneas horizontales que marcan el intervalo de trabajo del refractario del horno de reverbero establecido de 600°C a 700°C, además de líneas verticales que sirven para distinguir cada fusión de la curva de calentamiento. En todas las curvas se tiene que el calentamiento del horno de reverbero hasta la adición de los primeros lingotes para comenzar una prueba, es el segmento dado desde el origen de las curvas hasta la línea vertical “A”.



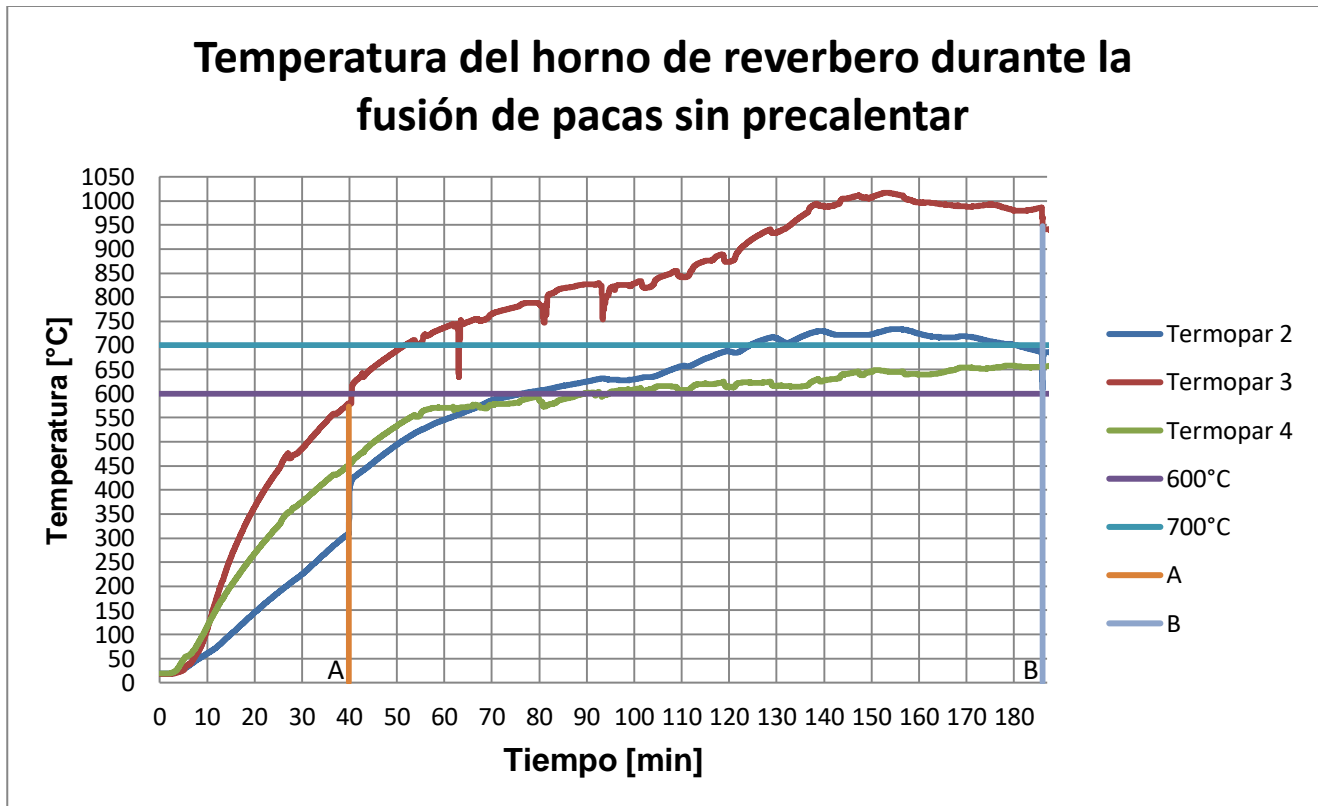
**Figura 3.10** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 1 (segmento A-B) y fusión 2 (segmento C-D) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, sin precalentamiento.



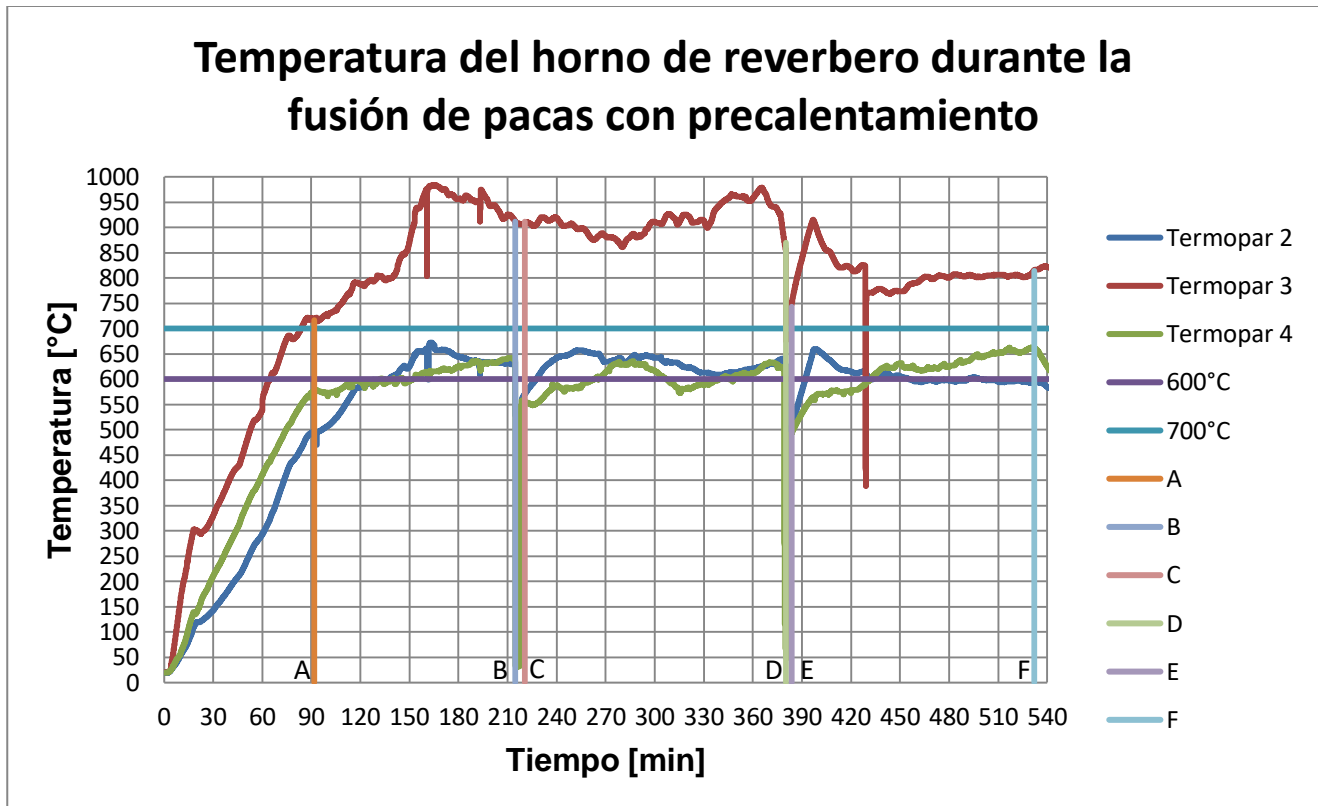
**Figura 3.11** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 3 (segmento A-B) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, sin precalentamiento.



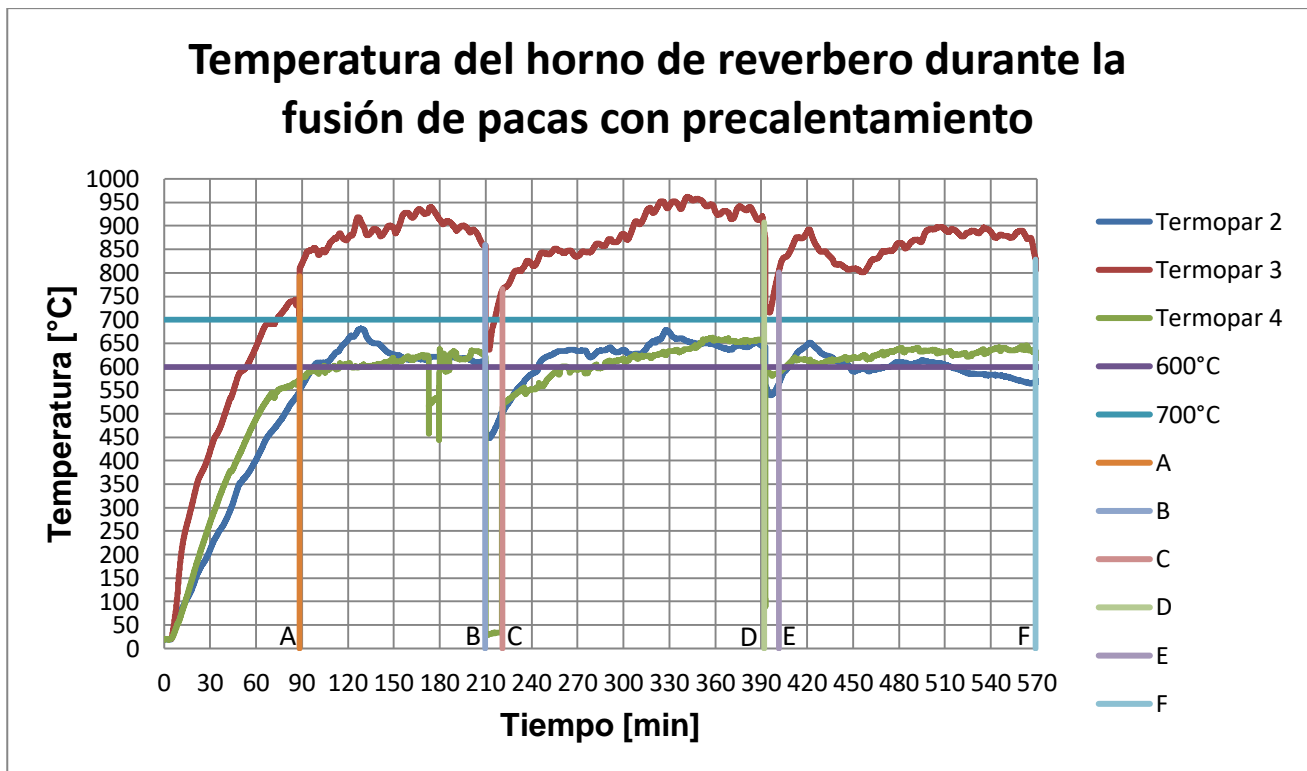
**Figura 3.12** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 4 (segmento A-B) y fusión 5 (segmento C-D) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento.



**Figura 3.13** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 6 (segmento A-B) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento.



**Figura 3.14** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 7 (segmento A-B), fusión 8 (segmento C-D) y fusión 9 (segmento E-F) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, con precalentamiento.



**Figura 3.15** - Curva de calentamiento del horno de reverbero durante la fusión 10 (segmento A-B), fusión 11 (segmento C-D) y fusión 12 (segmento E-F) de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, con precalentamiento.

### 3.6 COMPARATIVO DE LA TEMPERATURA DE COLADA Y TIEMPO DE FUSIÓN CON LOS PRODUCTOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO

**Tabla 3.12** – Pruebas de reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, sin precalentamiento.

Fusión	Temperatura de colada [°C]	Tiempo [min]	Eficiencia [%]	Escoria [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
1	758	172	75.58	21.70	1.18
2	798	132	79.95	17.06	1.74
3	883	119	79.60	17.78	0.95
Promedio	813	141	78.38	18.85	1.29

**Tabla 3.13** – Pruebas de reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, sin precalentamiento.

Fusión	Temperatura de colada [°C]	Tiempo [min]	Eficiencia [%]	Escoria [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
4	745	132	81.86	15.30	1.85
5	761	107	82.41	16.15	1.17
6	930	119	77.56	19.15	2.55
Promedio	812	119	80.61	16.87	1.86

**Tabla 3.14** – Pruebas de reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura, con precalentamiento.

Fusión	Temperatura de colada [°C]	Tiempo [min]	Eficiencia [%]	Escoria [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
7	795	124	79.12	20.22	1.21
8	829	121	73.68	23.20	1.42
9	742	138	78.29	20.72	1.79
Promedio	789	128	77.03	21.38	1.47

**Tabla 3.15** – Pruebas de reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, con precalentamiento.

Fusión	Temperatura de colada [°C]	Tiempo [min]	Eficiencia [%]	Escoria [%]	Mezcla Metal/Escoria [%]
10	761	149	78.40	20.14	1.10
11	807	169	78.26	19.64	1.32
12	746	130	79.53	19.08	1.25
Promedio	771	149	78.73	19.62	1.22

#### 4.1 EVALUACIÓN DEL PESO Y LOS ELEMENTOS APORTADOS POR LAS LATAS DE ALUMINIO

En la **Tabla 3.1** se presenta el análisis realizado a la pérdida de recubrimientos del bote de bebida de aluminio debido a la quema de los mismos por el horno rotatorio, se puede observar que la pérdida promedio es menor al 6% del peso total de la lata, esto porque se quemaron la pintura externa como la laca que recubre el interior, también se indica que la cantidad de aluminio a recuperar es alta y se podría esperar eficiencias altas. Con este análisis se puede estimar una eficiencia teórica del proceso de reciclado de aluminio, considerando los primeros 5Kg de lingotes con la composición de las latas de aluminio y la carga total de pacas (10Kg) que se obtienen de una fusión en el horno de reverbero, se esperaría recuperar 14.47Kg de aluminio y solamente 0.53Kg de residuos por la pintura. Partiendo de este valor de eficiencia ideal para el proceso de reciclado, se tiene presente que durante la experimentación no se podrá llegar a obtener una eficiencia tan alta por lo que en este trabajo se estudia el efecto de un quemado parcial de los recubrimientos y un precalentamiento de la carga sobre la eficiencia experimental en el reciclado de latas de bebida de aluminio.

En la **Tabla 3.2** se tiene el análisis del aporte de los elementos de aleación aportado tanto por el cuerpo y la tapa de la lata, se realizó a latas con la mayor cantidad de pintura quemada posible y una limpieza considerable de los recubrimientos, esto porque se relacionó con la composición teórica dada en las **Tablas 1.3** y **1.4**, este análisis es importante ya que este contenido de Fe, Mg, Mn y Ti se usará para conocer el cambio de composición química de estos elementos partiendo de una composición conocida. Tales elementos se presentan en % como el aporte total, tanto del cuerpo como de la tapa de la lata de aluminio. Los contenidos de Mn y Mg 1.0576 y 1.7871 respectivamente, son altos debido a que son los elementos aleantes de mayor proporción en la composición teórica del cuerpo y la tapa de la lata de bebida de aluminio.



## 4.2 ANÁLISIS DE LAS EFICIENCIAS OBTENIDAS DEL PROCESO DE RECICLADO DE ALUMINIO

Usando las **Ecuaciones 1, 2 y 3** se pueden calcular tanto la eficiencia del reciclado de aluminio en el horno de reverbero, la cantidad de escoria generada y la cantidad de aluminio que se encuentra mezclado con la escoria. Comparando los valores dados por las **Tablas 3.3 y 3.4**, se puede observar que la eficiencia obtenida aumenta por efecto de un quemado de los recubrimientos de la lata de bebida de aluminio y que la cantidad de escoria que se genera es menor. En el caso de las pacas de lata con pintura la eficiencia es menor debido a que la presencia de recubrimientos es mayor ya que no está tratada el bote de bebida de aluminio, pero también puede ser que esta pintura que se quema durante la fusión del bote, aglomera el aluminio que se funde parcialmente manteniéndolo en la escoria que se forma y no permite que se incorpore con facilidad en el seno del aluminio líquido, en la cámara de contención del horno de reverbero, caso contrario en las pacas de lata con pintura parcialmente quemada en que el aluminio se desprende con mayor facilidad de los recubrimientos, esto se ve reflejado en la cantidad de escoria y en la cantidad de la mezcla metal/escoria generada, es mayor con el uso de pacas de lata con pintura. Parte del aluminio que conforma el bote no se recupera debido a que parte del baño de metal queda expuesto a la superficie y a los gases de combustión de los quemadores provocando que una cantidad de aluminio se pierda como óxido y se obtenga junto con la escoria.

Particularmente en la **Tabla 3.4** se tiene que la eficiencia de la fusión 6 es menor a las eficiencias de las fusiones 4 y 5, esto se debe a que en esta fusión la temperatura alcanzada por las cámaras de fusión y contención es mayor, considerando el intervalo de temperaturas establecido para trabajar el horno de reverbero, llegando el aluminio líquido a tener una temperatura de 920°C provocando un sobrecalentamiento y una oxidación considerable del metal, con esto el valor de la eficiencia tiene similitud por las obtenidas en las fusiones de pacas con recubrimientos.

Comparando las **Tablas 3.5** y **3.6** se puede corroborar que un quemado de los recubrimientos de las latas de aluminio aumenta la eficiencia del reciclado de aluminio, mientras que un precalentamiento de las pacas de latas disminuye esta eficiencia, esto se debe a que al conservar la técnica de fusión, la velocidad de fusión de las pacas con precalentamiento en la cámara de fusión es mayor, ocasionando que el aluminio que se funde y desprende de los recubrimientos este expuesto a los gases de combustión de los quemadores antes de pasar a la cámara de contención. Parte del aluminio que pasa a la cámara de contención queda por encima de la capa de fundente/escoria provocando que se siga oxidando y se mezcle con la escoria formada, al momento de homogeneizar el aluminio líquido se romperá la capa de fundente/escoria haciendo que este aluminio que estaba por encima se incorpore al baño líquido.

El control de la técnica de fusión es vital para aumentar la eficiencia del reciclado de aluminio, desde la ruptura de la capa de fundente/escoria con el herramental para que el aluminio no se exponga un tiempo prolongado a los gases de combustión, también una buena homogeneización del aluminio líquido ayudará a evitar que la escoria se sumerja en el aluminio líquido y comience a formar cluster de escoria y óxido de aluminio, por otro lado el manejo adecuado de los quemadores para que la temperatura de las cámaras del horno de reverbero se encuentren en el intervalo de trabajo y evitar las pérdidas de aluminio por sobrecalentamiento.

### **4.3 ANÁLISIS DE LA OXIDACIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ALEANTES**

Con los valores de la composición de los elementos de interés mostrados en la **Tabla 3.2**, los análisis de composición obtenidos por espectroscopia de emisión atómica y la **Ecuación 4**, se puede comparar el cambio de composición química de los dos procesos de fusión, pacas de lata con pintura y con pintura parcialmente quemada. Además de comparar el efecto de un precalentamiento de las pacas de latas de aluminio en el reciclado del bote de aluminio.

### 4.3.1 EL HIERRO COMO IMPUREZA

Se observa en la **Figura 3.1** el cambio de composición química para el hierro, se puede notar que puede aumentar en el baño líquido del horno de reverbero, esto por la disolución de hierro del herramental mal pintado o por el desprendimiento de la pintura refractaria durante su uso, provocando disolución del mismo. La concentración de hierro cambia en menor medida desde que se inicia la fusión del bote de aluminio que en la gráfica es al tiempo de 10 minutos, comparándola con la concentración de la última muestra que fue al tiempo de 50 minutos. Existen variaciones en cuanto al comportamiento de la fusión de la paca con pintura y con pintura parcialmente quemada, esto se debe a como se da el tratamiento de homogeneización del aluminio líquido y que puede concentrarse cierta cantidad de este elemento en las cercanías de la bajada desde la cámara de fusión hacia la cámara de contención del horno de reverbero.

En la **Figura 3.2** se tiene que el Fe cambia su comportamiento drásticamente debido a que en estos casos, un fragmento de lata de acero fue agregado accidentalmente durante la fabricación de las pacas a fundir, lo que llevo a la disolución de este elemento en el aluminio reciclado. Ya que se usan 5Kg de lingotes de aluminio al final de cada fusión para continuar con otra prueba y aprovechar el gasto energético dado por los quemadores, el contenido de Fe varía en gran medida, siendo que como variable extra un precalentamiento de las pacas no afecta directamente sobre la oxidación del Fe. En la **Tabla 3.7** se observa que, por efecto de la adición accidental del fragmento de lata de acero, se da una ganancia de Fe durante las pruebas de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada, con precalentamiento, mientras que una correcta fabricación de pacas de lata de aluminio evita el contenido y por ende la oxidación del Fe durante las primeras 6 pruebas de fusión.

### 4.3.2 EL MANGANESO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la **Figura 3.3** se tiene el cambio de composición química para el caso del Mn, elemento de aleación dado por el cuerpo y la tapa de la lata de aluminio, se observa que conforme se prolonga la fusión de pacas con pintura el contenido de este elemento disminuye realmente poco, no se oxida con tanta facilidad, el hecho de fundir las pacas con pintura y

la generación de una mayor cantidad de escoria provoca que se cree una capa de fundente/escoria que evita el contacto de la atmosfera y los gases de combustión con el metal líquido, disminuyendo la oxidación del Mn. Al fundir las pacas con pintura parcialmente quemada, se puede observar que el contenido de Mn en el baño líquido no mantiene un comportamiento descendente, en este caso se puede observar un aumento casi durante todo el tiempo que dura el experimento de fusión de 15 Kg indicando que no se tiene pérdida de manganeso significativamente, teniendo un beneficio al usar paca de bote de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada en un horno rotatorio, los residuos de los recubrimientos en las pacas con pintura parcialmente quemada no tienen el mismo espesor y concentración que en las pacas con pintura, modificando considerablemente el aporte del Mn al metal líquido.

En la **Figura 3.4** se tiene como aumenta el Mn durante las pruebas de fusión, sin embargo hay ciertos puntos de las curvas donde se observa un aumento o disminución del Mn, por lo que se considera otro factor a considerar en donde las latas tratadas en el horno rotatorio, se fragmentan dando como productos pedacería tanto del cuerpo y la tapa de la lata, promoviendo así que en ciertas pacas que se fabrican, se tenga una mayor cantidad de pedacería del cuerpo de la lata que de pedacería de la tapa, por lo que homogeneizar la pedacería total obtenida del horno rotatorio, ayudará a disminuir la segregación de pedacería del cuerpo de la lata y por ende la segregación del manganeso en las pruebas de fusión.

En la **Tabla 3.8** se corrobora un aumento del contenido del manganeso a la composición del aluminio reciclado a partir de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada, sin precalentar, por efecto de un mayor aporte de este elemento sin la presencia total de los recubrimientos y una mayor cantidad de la aleación del cuerpo de las latas de bebida de aluminio en la fabricación de las pacas. El precalentamiento de las pacas oxida el Mn del aluminio dentro de la cámara de fusión dando como resultado una disminución de este elemento en las composiciones finales.

### 4.3.3 OXIDACIÓN DEL MAGNESIO

En la **Figura 3.5** se tiene el cambio de composición química para el Mg durante la fusión de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada. Para las condiciones sin precalentar, se observa que durante ambos procesos el contenido de Mg tiene un comportamiento ascendente, el Mg es el elemento de aleación en mayor proporción en promedio, el fundente de cobertura está diseñado para disminuir la oxidación de este elemento. En las 12 fusiones que se llevaron a cabo, en el tiempo de 10 minutos el contenido de Mg decae considerablemente en ciertas curvas, ya que el metal semi fundido que proviene de la cámara de fusión, no se sumerge totalmente en la cámara de contención exponiendo parte del metal a la atmosfera donde se tiene los quemadores provocando un aumento en la oxidación del Mg, como se puede observar este es el punto donde se observa un mínimo en la concentración de Mg y se puede notar como inmediatamente el Mg va aumentando debido a que el metal semi líquido que proviene de la cámara de fusión ya puede sumergirse totalmente sin que quede expuesto a la atmosfera oxidante.

Hay una mayor proporción de aporte del Mg cuando se reciclan las pacas con pintura parcialmente quemada, ya que con una menor presencia de recubrimientos en las latas de bebida de aluminio hay mayor contenido de Al y por ende de Mg en la paca, que en las pacas con pintura en la que se considera el peso tanto del aluminio del cuerpo y la tapa, como de los recubrimientos. En la **Figura 3.6** se observa que el efecto de un precalentamiento de las pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada, no afecta el aumento del contenido de Mg durante las pruebas de fusión, por lo contrario, con este precalentamiento se tiene un mayor aporte de Mg durante la fusión de pacas con pintura ya que dentro de la cámara de fusión los recubrimientos internos y externos se queman parcialmente, exponiendo menos la superficie de la lata y también por menos tiempo dando como resultado una menor oxidación del Mg, y esto permite que el aluminio que se incorpora al baño líquido de como resultado una mayor eficiencia.

#### 4.3.4 EL TITANIO EN EL RECICLADO DE ALUMINIO

En la **Figura 3.7** se observa el cambio de concentración del Ti durante la fusión de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada. Para las condiciones sin precalentar, se puede notar un comportamiento descendente que se interpreta como que la función del fundente sobre la oxidación del Ti no es efectiva, el Ti se pierde y se aloja en la escoria dando pérdidas considerables en la composición química, siendo así que a tiempos largos de reciclado el Ti se oxidará. Ya que la pintura exterior de las latas de aluminio aporta una mayor cantidad de aluminio al contener óxido de titanio, se tiene una mayor concentración de Ti en la fusión de paca con pintura que en la fusión de pacas con pintura parcialmente quemada. El quemado previo que se realiza en las latas en el horno de reverbero provoca una disminución del Ti en la composición química al disminuir los recubrimientos de las latas de bebida de aluminio.

En la **Figura 3.8** se puede observar nuevamente el comportamiento en el cambio de concentración del titanio, en esta gráfica la pérdida del titanio es más drástica ya que el precalentamiento de las pacas aumenta la velocidad de quemado de los recubrimientos dentro de la cámara de fusión, tanto para las pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada, dando así pérdidas tempranas del óxido de titanio.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LA GANANCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

En la **Tabla 3.11** se tienen las ganancias experimentales de los elementos de aleación considerados para el reciclado de pacas de latas de bebida de aluminio, junto con las condiciones experimentales dadas en la matriz de experimentos, que se muestra en la **Tabla 2.1**. Se observa que las ganancias son altas para los elementos como el hierro y el manganeso, mientras que para el magnesio y sobre todo el titanio son menores, esto se puede observar de mejor manera en la **Figura 3.9**, en el caso del hierro hay una notable variación de este elemento durante las pruebas de fusión y se debe más que nada a la disolución del herramental de acero y a la presencia de fragmentos de latas de acero en las pacas que se fabricaron.

La ganancia del magnesio es superior en las fusiones en donde las pacas de latas de bebida de aluminio fueron precalentadas, esto debido a que la paca se funde con una mayor velocidad incorporándose más temprano al baño de metal líquido evitando así las pérdidas por oxidación mayores que se presentan en la fusión de pacas sin precalentar, la presencia del fundente de cobertura también ayudo a aumentar esta ganancia.

El titanio tiene las ganancias mayores en las fusiones de pacas de latas de bebida de aluminio, en las condiciones sin precalentar, esto debido a que hay una mayor cantidad de recubrimientos exteriores hechos de óxido de titanio que aportan este elementos al baño líquido, por lo contrario cuando se hace un precalentamiento de la pacas antes de ingresarla a la cámara de fusión del horno de reverbero los recubrimientos a mayor temperatura debido al precalentamiento, se queman a mayor velocidad debido a los quemadores del horno provocando pérdidas del óxido de titanio.

La ganancia del manganeso es relativamente alto debido a que es un elemento que se oxida en menor medida en comparación con el magnesio, la presencia del fundente de cobertura ayuda a disminuir las pocas pérdidas por oxidación. Además, la segregación de pedacería del cuerpo de lata de bebida de aluminio en la fabricación de pacas, puede aumentar considerablemente el contenido del manganeso en el baño de aluminio líquido.

#### **4.5 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL HORNO DE REVERBERO**

Las **Figuras 3.10** y **3.12** muestran las curvas de calentamiento del horno de reverbero durante dos pruebas de fusión tanto de pacas con pintura y pintura parcialmente quemada, en condiciones sin precalentamiento, el termopar 2 que indica la temperatura de la cámara de contención al colocarse en la parte inferior del horno se tarda más tiempo en aumentar la temperatura, la curva dada por el termopar se encuentra por encima de las demás debido a que la zona central que registra el termopar 3 recibe el calentamiento de los 2 quemadores y el calentamiento por radiación de las dos cámaras del horno, finalmente el termopar 4 indica la temperatura de la cámara de fusión ya que se coloca en la parte posterior del honor, se registra un temperatura intermedia ya que se debe que la zona donde registra la temperatura el espesor del refractario es mayor que en las demás.

Las caídas de temperatura marcadas en la curva verde (termopar 4) se deben al momento en que se abre por un periodo demasiado largo de tiempo la compuerta por donde se adicionan las pacas durante las pruebas.

La **Figura 3.11** y **3.13** solo muestran una prueba de fusión correspondiente al reciclado de pacas con pintura y con pintura parcialmente quemada, sin precalentar, esto se realizó para poder comparar el tiempo que lleva el proceso de solamente 5Kg de lingotes con la composición de aluminio reciclado y 10 Kg de paca de lata de bebida de aluminio, una prueba de fusión. Con esta comparación se logró realizar tres pruebas consecutivas en un día para disminuir el consumo energético por parte del horno de reverbero y aprovechar la energía térmica dentro del horno para hacer pruebas de fusión consecutivas, esto se puede observar en las **Figuras 3.14** y **3.15**.

En la **Figura 3.10** de la fusión de pacas con pintura sin precalentar se puede observar que en la segunda fusión las temperaturas registradas son ligeramente menores debido a que el horno de reverbero ya tenía temperaturas estables por lo que se procedió a apagar un quemador para mantener la temperatura y disminuir el gasto de gas. Durante las doce pruebas de fusión se trató de mantener temperaturas estables de los termopares 2 y 4, dentro del intervalo de temperaturas de trabajo para evitar un sobrecalentamiento del aluminio líquido, sobre todo para evitar un desgaste prematuro del refractario por altas temperaturas permitiendo que el acero con que se sostiene la pared refractaria no se deforme por el calentamiento excesivo.

#### **4.6 ANÁLISIS DEL COMPARATIVO DE LA TEMPERATURA DE COLADA Y TIEMPO DE FUSIÓN CON LOS PRODUCTOS DEL RECICLADO DE ALUMINIO**

En las **Tablas 3.12**, **3.13**, **3.14** y **3.15** se tienen las temperaturas de colada a las cuales se vació el aluminio reciclado del horno de reverbero de las pruebas de fusión de pacas de latas de bebida de aluminio con pintura y con pintura parcialmente quemada, sin precalentar y con precalentamiento, y el tiempo que duró la prueba de fusión desde que se ingresaron los primeros 5Kg de lingotes de aluminio reciclado hasta terminar con la fusión de las cargas (pacas de bote) y obtener así 15Kg de aluminio fundido y retirar la capa de fundente/escoria que se formó durante todo el proceso.



Observado las tablas se puede notar que las pruebas de fusión en las que el horno de reverbero alcanza temperaturas altas y por ende una temperatura de colada del aluminio altas, es en donde se tienen eficiencias mayores, esto también está relacionado con el tiempo que dura el experimento en que a menor tiempo de la prueba de fusión la eficiencia de reciclado de aluminio es mayor. Con esto se puede corroborar que las pacas de latas con pintura parcialmente quemada tienen una eficiencia de recuperación mayor a las pacas de latas que no tuvieron un tratamiento de quemado de los recubrimientos exteriores e interiores. El precalentamiento de las pacas antes de cada adición al horno de reverbero disminuye la eficiencia del reciclado de aluminio en un 2 a 3%, mientras que el efecto de las temperaturas de trabajo en el horno de reverbero y el tiempo del proceso de la prueba de fusión también afecta a esta eficiencia.

En el caso de la fusión 3 en que la eficiencia es alta, la fusión de paca con pintura sin precalentar, la temperatura del baño llega a 883°C y el proceso de fusión de la carga llega a ser de 119 minutos. También en la fusión 5 la eficiencia es mayor cuando el proceso de reciclado se hace en el menor tiempo, 107, y la temperatura del baño líquido es relativamente alta, 761°C. Con esto se puede decir que las temperaturas de trabajo del horno de reverbero, se deben controlar adecuadamente para que la temperatura del baño de aluminio líquido no supere los 800°C y el tiempo de la prueba de fusión no sea mayor a 132 minutos.

- El uso de latas de bebida de aluminio con pintura en horno de reverbero tiene una eficiencia de recuperación del 78.38%, generando en promedio 1.29% de escoria debido a la presencia de recubrimientos externos e internos, junto con el fundente que se utilizó.
- El uso de latas de bebida de aluminio con pintura parcialmente quemada en horno de reverbero aumenta la eficiencia desde un 78.38% hasta 80.61%, como consecuencia de realizar un quemado parcial de los recubrimiento exteriores e interiores en un horno rotatorio, generando en promedio 1.86% de escoria durante el proceso, junto con el fundente que se utilizó.
- El tratamiento de quemado parcial de los recubrimientos de las latas de bebida aluminio en un horno rotatorio, para fabricar pacas y fundirlas a bajas temperaturas de fusión (700-750°C) y tiempos aproximados de 107 a 130 minutos, aumentan la eficiencia de obtención de aluminio reciclado en 2.23% en promedio, que si solo se funden pacas con pintura.
- Un precalentamiento de las pacas a fundir en un horno de reverbero disminuye la eficiencia de reciclado de aluminio, en un 1.88%, siendo que este calentamiento no es adecuado para aumentar la eficiencia del reciclado de aluminio.
- La concentración de Fe no cambia durante todo el tiempo de fusión por el uso de la lata de aluminio tanto con pintura y con pintura parcialmente quemada, pero aumenta debido a la disolución de herramental mal pintado.
- El uso de pacas con pintura parcialmente quemada aumenta el contenido de Mg llevando la concentración de este elemento hasta 0.1198%, mientras que la concentración del Mn durante el reciclado de latas de bebida de aluminio se mantiene relativamente constante.
- La concentración adimensional de Ti disminuye máximo en un valor de 0.02 unidades, tanto para latas con pintura como con pintura parcialmente quemada, siendo que un precalentamiento de las pacas tiene un efecto mínimo sobre la concentración de este elemento.

- La quema parcial de los recubrimientos de las latas de aluminio disminuye el contenido de Ti en el reciclado de latas de bebida de aluminio desde el inicio de la fusión en el horno de reverbero.
- La oxidación del hierro y el titanio se debe a las altas temperaturas de trabajo y prolongados tiempos de las pruebas de fusión, siendo que el fundente de cobertura no tiene efecto sobre estos elementos, mientras que la ganancia del manganeso permanece constante.
- Las condiciones adecuadas para obtener la mayor eficiencia de reciclado de aluminio en horno de reverbero, son; 1) Uso de latas con pintura parcialmente quemada, 2) Temperaturas de fusión del horno de reverbero en el intervalo de trabajo de 667 a 760°C, 3) Sin precalentamiento de las pacas fuera del horno, debido a que la fusión se realiza en un horno de reverbero de solera seca, y 4) Tiempo del proceso de reciclado de 107 minutos. Esto solo aplica a la condiciones aplicadas y al horno usado.

1. México recolecta 97% de sus latas de aluminio, solo aprovecha la mitad, consulta: [08/03/2018], disponible en URL: <https://www.nuevamujer.com/bienestar/2013/09/10/mexico-recolecta-97-de-sus-latas-de-aluminio-solo-aprovecha-la-mitad.html>
2. D. Scott Mackenzie, George E. Totten, Handbook of Aluminum “Alloy Production and Materials Manufacturing”, Marcel Dekker Inc, Volume 2, USA, 2003, pp.(115-121).
3. Subodh Das, Weimin Yin, “Trends in the Global Aluminum Fabrication Industry”, JOM Review, USA, February 2007, pp. (83-84).
4. Kiffaya Abood AISaffar, Layla Muhsan Hasan Bdeir, “Recycling of Aluminum Beverage Cans”, Journal of Engineering and Development, Vol.12, No.3, September 2008, pp (2-6).
5. Shakila Begum, “Recycling of Aluminum from Aluminum Cans”, Journal-Chemical Society of Pakistan, Vol.35, No.6, December 2013, pp (2-4).
6. J. R. Davis, ASM Specialty handbook “Aluminum and Aluminum Alloys”, ASM International, The Materials Information Society, USA, 2000, pp (3-7).
7. The Aluminum Association, “International Alloys Designation and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys”, USA, First Edition, January 2015, pp (4, 8).
8. William F. Hosford, John L. Duncan, “The Aluminum Beverage Can”, Scientific American Inc, September 1994, pp.(48-52).
9. Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikaion GmbH, “Handbook of Aluminium Vol.2: Forming, Casting, Surface Treatment, Recycling and Ecology”, First Edition, 2003, pp-(560, 562-572, 590-595).
10. Romero Martínez Jaime, “Separación de tapa y cuerpo de envases de aluminio de bebidas, en un horno rotatorio”, UNAM, México D.F, 2011, pp (66, 126).
11. J. Gilbert Kaufman, “Aluminum Alloys and Tempers”, ASM International, USA, 2000, pp (11-15).
12. Oswaldo Cano Vargas, “Reciclado del cuerpo de latas de bebida de aluminio en un horno de reverbero”, UNAM, México D.F., 2016.

13. Andrés Méndez Cervantes, “Estudio de la disminución de escoria y su contenido metálico en el proceso de producción de aleaciones comerciales base aluminio para colada a presión a partir de chatarra en industrial ligas metálicas”, UNAM, México D.F., 2012, pp (16-22).
14. P.E. Tsakiridis, “Aluminium salt slag characterization and utilization”, Journal of Hazardous Materials, Department of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 2012, pp(2-4).
15. Noticias del aluminio, reciclaje de aluminio, consulta :[04/05/2018], disponible en URL: <http://www.almexa.com.mx/noticias-del-aluminio/reciclaje-de-aluminio/>
16. Selección y aplicación de fundentes en la fusión de aluminio para piezas de fundición, consulta: [29/04/2018], disponible en URL: [http://fundytec.com.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6&Itemid=6](http://fundytec.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=6)
17. Guía técnica AINIA de envase y embalaje, Recubrimientos para envases metálicos, consulta: [10/05/2018], disponible en URL: [http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/0B23788EF00042A8C125714D004EA6F0/\\$FILE/Recubrimientos.pdf?OpenElement](http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/0B23788EF00042A8C125714D004EA6F0/$FILE/Recubrimientos.pdf?OpenElement)
18. How aluminum beverage cans is made-material, production process, consulta: [20/05/2018], disponible en URL: <http://www.madehow.com/Volume-2/Aluminum-Beverage-Can.html>
19. Fluxes for melting aluminum, consulta: [21/05/2018], disponible en URL: [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=fluxes\\_for\\_melting\\_aluminum#drossing\\_fluxes](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=fluxes_for_melting_aluminum#drossing_fluxes)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	04/05/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.1				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP.DEL AL LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>		Pacas sin precalentar				
09:12		Encendido del horno				
09:50		Adición de 2 lingotes		378	499	402
10:12		Adición de 3 lingotes		540	655	539
10:28		Adición de 5 lingotes		598	714	580
10:35		Adición de 2 lingotes, adición de fundente	850	608	718	581
11:04		Toma de muestra para análisis químico	870	675	811	637
11:17		Adición de 2 pacas (1Kg)				
11:24		Toma de muestra para análisis químico	838	642	804	645
11:26		Adición de 2 pacas (1Kg)				
11:34		Toma de muestra para análisis químico	805	635	800	643
11:35		Adición de 2 pacas (1Kg)				
11:43		Toma de muestra para análisis químico	836	630	824	643
11:45		Adición de 2 pacas (1Kg)				
11:50		Toma de muestra para análisis químico	799	632	846	642
11:51		Adición de 2 pacas (1Kg)				
11:59		Toma de muestra para análisis químico	861	649	838	647
12:06		Adición de 2 pacas (1Kg)				
12:13		Toma de muestra para análisis químico	860	640	845	638
12:15		Adición de 2 pacas (1Kg)				
12:16		Toma de muestra para análisis químico	785	630	857	636
12:21		Adición de 2 pacas (1Kg)				
12:23		Toma de muestra para análisis químico	772	620	820	623
12:30		Adición de 2 pacas (1Kg)				
12:32		Toma de muestra para análisis químico	751	608	798	611
12:40		Adición de 2 pacas (1Kg)				
12:42		Toma de muestra para análisis químico	758	599	799	608

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA	04/05/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.2				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>		Pacas sin precalentar				
01:20		Adición 5 lingotes		579	767	630
01:29		Adición 6 lingotes		588	773	638
02:01		Adición de 3 lingotes		596	780	644
02:02		Adición de 2 lingotes, adición de fundente	786	602	799	650
02:08		Toma de muestra para análisis químico	788	610	812	657
02:10		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:15		Toma de muestra para análisis químico	807	606	814	663
02:21		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:27		Toma de muestra para análisis químico	795	603	821	660
02:28		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:35		Toma de muestra para análisis químico	797	600	821	654
02:37		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:44		Toma de muestra para análisis químico	799	587	734	641
02:46		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:55		Toma de muestra para análisis químico	802	584	750	634
02:57		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:00		Toma de muestra para análisis químico	810	582	713	640
03:06		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:10		Toma de muestra para análisis químico	802	587	648	632
03:18		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:20		Toma de muestra para análisis químico	795	595	871	634
03:26		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:30		Toma de muestra para análisis químico	782	590	862	633
03:36		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:38		Toma de muestra para análisis químico	798	579	849	658

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	08/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.3				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas sin precalentar					
02:10	Encendido del horno					
03:24	Adición de 6 lingotes			597	820	570
03:30	Adición de 7 lingotes			601	829	579
03:40	Adición de 4 lingotes, adición de fundente		851	609	833	585
03:54	Toma de muestra para análisis químico		854	614	840	593
03:55	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:05	Toma de muestra para análisis químico		855	637	837	603
04:10	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:12	Toma de muestra para análisis químico		858	646	881	604
04:18	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:21	Toma de muestra para análisis químico		865	660	890	612
04:29	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:31	Toma de muestra para análisis químico		872	680	962	626
04:35	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:38	Toma de muestra para análisis químico		902	687	991	637
04:44	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:47	Toma de muestra para análisis químico		917	681	995	634
04:55	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:58	Toma de muestra para análisis químico		917	667	978	639
05:00	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:07	Toma de muestra para análisis químico		904	659	982	640
05:12	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:16	Toma de muestra para análisis químico		887	653	954	641
05:20	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:23	Toma de muestra para análisis químico		883	649	970	640



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	08/05/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.4				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP.DEL AL LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>						
01:15		Pacas sin precalentar				
02:18		Encendido del horno				
02:30		Adición de 6 lingotes		668	811	551
02:30		Adición de 7 lingotes		673	827	568
02:58		Adición de 5 lingotes, adición de fundente	771	680	835	579
02:59		Toma de muestra para análisis químico	785	687	841	584
03:06		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:20		Toma de muestra para análisis químico	878	676	876	618
03:25		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:28		Toma de muestra para análisis químico	835	681	889	626
03:34		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:38		Toma de muestra para análisis químico	852	672	898	616
03:40		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:42		Toma de muestra para análisis químico	837	660	889	604
03:45		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:50		Toma de muestra para análisis químico	823	647	899	609
03:55		Adición de 2 pacas (1Kg)				
03:57		Toma de muestra para análisis químico	801	682	868	612
04:02		Adición de 2 pacas (1Kg)				
04:04		Toma de muestra para análisis químico	788	624	855	622
04:05		Adición de 2 pacas (1Kg)				
04:09		Toma de muestra para análisis químico	770	624	834	622
04:14		Adición de 2 pacas (1Kg)				
04:16		Toma de muestra para análisis químico	759	621	816	619
04:19		Adición de 2 pacas (1Kg)				
04:21		Toma de muestra para análisis químico	745	619	800	617

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	08/05/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.5				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas sin precalentar					
04:30	Adición de 7 lingotes			667	868	673
04:48	Adición de 6 lingotes			678	877	689
05:00	Adición de 6 lingotes, adición de fundente		820	690	889	702
05:08	Toma de muestra para análisis químico		824	696	900	711
05:10	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:12	Toma de muestra para análisis químico		832	693	901	706
05:15	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:18	Toma de muestra para análisis químico		825	679	824	694
05:20	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:25	Toma de muestra para análisis químico		825	660	888	685
05:28	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:31	Toma de muestra para análisis químico		832	652	882	678
05:35	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:39	Toma de muestra para análisis químico		833	642	848	673
05:42	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:44	Toma de muestra para análisis químico		814	632	822	670
05:48	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:50	Toma de muestra para análisis químico		802	623	808	665
05:56	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:58	Toma de muestra para análisis químico		795	613	800	669
06:04	Adición de 2 pacas (1Kg)					
06:07	Toma de muestra para análisis químico		772	604	793	658
06:10	Adición de 2 pacas (1Kg)					
06:17	Toma de muestra para análisis químico		761	595	760	669

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	14/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.6				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>						
		Pacas sin precalentar				
11:50		Encendido del horno				
12:50		Adición 7 lingotes		597	798	580
01:05		Adición de 6 lingotes		608	809	589
01:17		Adición de 4 lingotes, adición de fundente	768	617	818	600
01:18		Toma de muestra para análisis químico	773	628	825	606
01:19		Adición de 2 pacas (1Kg)				
01:25		Toma de muestra para análisis químico	806	633	826	609
01:28		Adición de 2 pacas (1Kg)				
01:33		Toma de muestra para análisis químico	827	656	845	612
01:34		Adición de 2 pacas (1Kg)				
01:42		Toma de muestra para análisis químico	852	685	876	615
01:45		Adición de 2 pacas (1Kg)				
01:53		Toma de muestra para análisis químico	890	706	942	615
02:00		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:03		Toma de muestra para análisis químico	926	722	999	637
02:08		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:11		Toma de muestra para análisis químico	947	721	1006	644
02:12		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:21		Toma de muestra para análisis químico	952	725	996	640
02:23		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:30		Toma de muestra para análisis químico	946	729	989	654
02:31		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:40		Toma de muestra para análisis químico	950	702	982	658
02:41		Adición de 2 pacas (1Kg)				
02:49		Toma de muestra para análisis químico	930	684	940	659

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	20/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.7				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)	T.INT(°C) C.CONT	T.INT(°C) C.FUSIÓN	T.INT(°C) C. ATRÁS
<b>HORA</b>	Pacas con precalentamiento					
07:40	Encendido del horno					
08:00	Apagado de quemadores, reparación de la línea de aire					
09:30	Adición de 6 lingotes			569	773	569
09:38	Adición de 8 lingotes			578	786	581
09:46	Adición de 7 lingotes, adición de fundente		708	590	798	595
10:00	Toma de muestra para análisis químico		711	597	803	601
10:03	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:17	Toma de muestra para análisis químico		712	603	799	598
10:08	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:12	Toma de muestra para análisis químico		718	615	834	601
10:16	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:20	Toma de muestra para análisis químico		738	624	871	596
10:22	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:28	Toma de muestra para análisis químico		769	654	948	611
10:34	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:36	Toma de muestra para análisis químico		781	658	983	615
10:43	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:45	Toma de muestra para análisis químico		795	654	965	618
10:52	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:54	Toma de muestra para análisis químico		801	641	959	626
11:01	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:03	Toma de muestra para análisis químico		802	635	951	634
11:07	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:10	Toma de muestra para análisis químico		789	632	942	633
11:20	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:24	Toma de muestra para análisis químico		795	633	914	638

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	20/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.8				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas con precalentamiento					
12:19	Adición de 6 lingotes			608	853	587
12:14	Adición de 7 lingotes			615	862	598
12:21	Adición de 8 lingotes, adición de fundente		720	627	874	606
12:35	Toma de muestra para análisis químico		729	634	883	613
12:36	Adición de 2 pacas (1Kg)					
12:47	Toma de muestra para análisis químico		771	631	869	628
12:49	Adición de 2 pacas (1Kg)					
12:55	Toma de muestra para análisis químico		772	643	881	629
12:58	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:03	Toma de muestra para análisis químico		781	644	904	620
13:04	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:11	Toma de muestra para análisis químico		760	636	910	604
13:12	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:21	Toma de muestra para análisis químico		754	621	913	574
13:22	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:30	Toma de muestra para análisis químico		753	620	909	583
13:32	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:41	Toma de muestra para análisis químico		770	611	912	592
13:42	Adición de 2 pacas (1Kg)					
13:52	Toma de muestra para análisis químico		781	613	962	600
13:53	Adición de 2 pacas (1Kg)					
14:03	Toma de muestra para análisis químico		815	619	952	610
14:04	Adición de 2 pacas (1Kg)					
14:12	Toma de muestra para análisis químico		829	625	967	630

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	20/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura				
	PRUEBA:	Fusión no.9				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas con precalentamiento					
03:03	Adición de 6 lingotes			558	750	582
03:09	Adición de 7 lingotes			564	757	587
03:14	Adición de 6 lingotes, adición de fundente		715	572	761	593
03:25	Toma de muestra para análisis químico		717	576	764	597
03:36	Adición de 2 pacas (1Kg)					
03:59	Toma de muestra para análisis químico		720	588	770	600
04:00	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:13	Toma de muestra para análisis químico		726	605	770	622
04:18	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:22	Toma de muestra para análisis químico		736	602	779	623
04:27	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:29	Toma de muestra para análisis químico		726	595	791	618
04:35	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:39	Toma de muestra para análisis químico		736	597	799	621
04:44	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:48	Toma de muestra para análisis químico		732	598	800	626
04:56	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:58	Toma de muestra para análisis químico		740	597	803	635
05:06	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:08	Toma de muestra para análisis químico		737	600	801	643
05:15	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:17	Toma de muestra para análisis químico		744	594	806	651
05:25	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:27	Toma de muestra para análisis químico		742	595	805	656

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	24/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.10				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas con precalentamiento					
08:45	Encendido del horno					
09:41	Adición de 6 lingotes			591	827	578
09:52	Adición de 9 lingotes			599	832	589
10:10	Adición de 8 lingotes, adición de fundente		694	603	838	596
10:21	Toma de muestra para análisis químico		700	607	847	599
10:26	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:33	Toma de muestra para análisis químico		754	631	877	595
10:41	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:43	Toma de muestra para análisis químico		778	663	885	598
10:51	Adición de 2 pacas (1Kg)					
10:52	Toma de muestra para análisis químico		781	663	880	600
10:59	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:01	Toma de muestra para análisis químico		778	644	878	606
11:09	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:11	Toma de muestra para análisis químico		773	624	887	611
11:21	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:23	Toma de muestra para análisis químico		792	615	919	617
11:30	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:32	Toma de muestra para análisis químico		800	616	930	612
11:40	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:42	Toma de muestra para análisis químico		788	619	903	628
11:50	Adición de 2 pacas (1Kg)					
11:52	Toma de muestra para análisis químico		774	618	891	617
11:59	Adición de 2 pacas (1Kg)					
12:01	Toma de muestra para análisis químico		761	614	888	634

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	24/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.11				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>TEMP.DEL AL LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>						
	Pacas con precalentamiento					
12:32	Adición de 6 lingotes			619	834	538
01:10	Adición de 8 lingotes			627	848	545
01:21	Adición de 8 lingotes, adición de fundente		736	633	859	551
01:40	Toma de muestra para análisis químico		740	640	865	559
01:42	Adición de 2 pacas (1Kg)					
01:50	Toma de muestra para análisis químico		748	641	872	605
01:53	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:02	Toma de muestra para análisis químico		776	635	881	609
02:09	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:10	Toma de muestra para análisis químico		780	628	910	616
02:17	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:19	Toma de muestra para análisis químico		871	645	927	624
02:29	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:28	Toma de muestra para análisis químico		815	668	951	632
02:37	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:39	Toma de muestra para análisis químico		810	660	938	633
02:48	Adición de 2 pacas (1Kg)					
02:50	Toma de muestra para análisis químico		821	649	958	643
02:58	Adición de 2 pacas (1Kg)					
03:00	Toma de muestra para análisis químico		822	647	933	657
03:09	Adición de 2 pacas (1Kg)					
03:11	Toma de muestra para análisis químico		820	635	914	655
03:19	Adición de 2 pacas (1Kg)					
03:21	Toma de muestra para análisis químico		807	642	933	656



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO						
FACULTAD DE QUÍMICA EDIFICIO "D"						
LABORATORIO DE FUNDICIÓN						
HOJA DE CONTROL DEL HORNO DE REVERVERO						
	USUARIO:	Aarón Mauricio Morales Vargas			FECHA:	24/08/2018
	MATERIAL:	Lata con pintura parcialmente quemada				
	PRUEBA:	Fusión no.12				
		<b>CANAL DEL ADQUISIDOR</b>	TERMOPAR 1	TERMOPAR 2	TERMOPAR 3	TERMOPAR 4
	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>TEMP.DEL AI LÍQUIDO(°C)</b>	<b>T.INT(°C) C.CONT</b>	<b>T.INT(°C) C.FUSIÓN</b>	<b>T.INT(°C) C. ATRÁS</b>
<b>HORA</b>	Pacas con precalentamiento					
03:58	Adición de 6 lingotes			558	769	584
04:06	Adición de 5 lingotes			569	783	591
04:17	Adición de 6 lingotes			578	792	603
04:25	Adición de 7 lingotes, adición de fundente		688	587	803	615
04:41	Toma de muestra para análisis químico		691	591	809	619
04:43	Adición de 2 pacas (1Kg)					
04:53	Toma de muestra para análisis químico		711	591	821	617
05:03	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:05	Toma de muestra para análisis químico		733	599	846	632
05:06	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:16	Toma de muestra para análisis químico		748	609	852	634
05:18	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:27	Toma de muestra para análisis químico		763	613	870	632
05:28	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:38	Toma de muestra para análisis químico		771	607	897	631
05:40	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:47	Toma de muestra para análisis químico		764	597	891	626
05:49	Adición de 2 pacas (1Kg)					
05:58	Toma de muestra para análisis químico		764	585	887	623
05:59	Adición de 2 pacas (1Kg)					
06:08	Toma de muestra para análisis químico		764	582	893	630
06:10	Adición de 2 pacas (1Kg)					
06:20	Toma de muestra para análisis químico		760	579	878	640
06:22	Adición de 2 pacas (1Kg)					
06:37	Toma de muestra para análisis químico		746	568	870	635