

01177



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERIA

ESTUDIO PARA PREVENIR Y DISMINUIR LA
CONTAMINACION EN UNA INDUSTRIA DE FUNDICION
DE ALUMINIO A PRESION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA (AMBIENTAL)

P R E S E N T A :

I.Q. CARLO MAGNO MENDOZA ROSAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE L. DE VICTORICA ALMEIDA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por complementar mi formación profesional, permitiéndome ascender un peldaño más en la escalera de la vida.

A CONACYT, por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Dr. Jorge De Victorica Almeida, por compartir sus conocimientos y su experiencia orientándome en todo momento para llevar a cabo mi trabajo de tesis de la mejor forma posible.

A toda la gente de la empresa Fundidora de Aluminio, por su ayuda en la ejecución de mi trabajo, pero principalmente por su apoyo incondicional y amistad.

A cada uno de los miembros de mi jurado, por las aportaciones valiosas a mi trabajo de tesis.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: CARLO MENDOZA

MENDOZA ROSAS

FECHA: 19/10/2011

FIRMA: [Firma]

DEDICATORIAS

A mi Madre.- Por ser la mujer auténtica, que a cada instante me impulsa a seguir adelante, a través de una sonrisa, una palmada en el hombro, un beso o un simple "Te quiero mucho".

A mi Padre.- Por ser ese ejemplo de honestidad, haciéndome entender que como mexicano debo ayudar a las personas que han tenido menos oportunidades, ya que la educación y la cultura son la salvación de nuestro pueblo, para poder lograr un desarrollo no únicamente económico, sino moral e intelectual.

A mis hermanos.- Tomás, Rosi, Fulvio, Marco, Leo; porque a pesar de las malas experiencias aún estamos juntos, luchando contra las adversidades, pero también disfrutando de la vida. Gracias por enseñarme a aceptar mis derrotas con la cabeza en alto, con los ojos bien abiertos, por ayudarme a construir mis caminos en el hoy, porque el terreno de mañana es demasiado incierto para hacer planes.

A Ceci.- Por permitirme conocer el amor, por tu amistad, tu complicidad, tu ternura, tu lealtad, por estar a mi lado en momentos buenos y malos, por tu apoyo incondicional, por ser mi novia eterna...

A ti Señor.- Por darte vida una criatura lavable de pies a cabeza, sin ser de plástico, poseedor de 180 piezas movibles y todas reemplazables, capaz de funcionar a base de café negro y las sobras de la comida "El Ser Humano".

Carlo Magno Mendoza

ÍNDICE

I. Introducción	1
Capítulo 1	
1. Objetivos	3
1.1 Alcances	3
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 El proceso de fundición	5
Capítulo 2	
2. Metodología	16
Capítulo 3	
3. Resultados	32
3.1 Empresa Mexicana Fundidora de Aluminio	32
3.2 Relación maquinaria-equipo del proceso de fundición	32
3.3 Descripción del proceso	34
3.4 Residuos, descargas y emisiones en la atmósfera	41
3.5 Normatividad y legislación ambiental	44
3.6 Balances de materia y energía	46
3.6.1 Balance de materia en horno de crisol	46
3.6.2 Balance de energía en horno de crisol	48
3.6.3 Balance de materia en horno de reverbero	57
3.6.4 Balance de energía en horno de reverbero	58
3.7 Costos asociados a los lotes de producción	68
Capítulo 4	
4. Análisis y Evaluación de Resultados	75
4.1 Oportunidades para la prevención y disminución de la contaminación	75
4.2 Análisis Costo-Beneficio	76
Capítulo 5	
5. Conclusiones y Recomendaciones	82

Bibliografía	85
Anexos y memoria fotográfica	
Anexo 1: Memoria de cálculo de la relación aire-combustible para combustión completa	87
Anexo 2: Memoria de cálculo del consumo de gas L.P en la empresa fundidora de aluminio	90
Anexo 3: Determinación de parámetros eléctricos en motores y medición del sistema de enfriamiento de la planta	92
Anexo 4: Memoria de cálculo de balances de materia, energía y de las oportunidades de prevención y disminución de la contaminación	95
Anexo 5: Hojas técnicas de materias primas	127
Anexo 6: Hojas de datos de seguridad de materias primas y servicios	130
Anexo 7: Análisis de agua residual	153
Anexo 8: Análisis de emisión de partículas	154
Memoria fotográfica	155

Resumen

En México, la industria de la fundición ha desempeñado un papel preponderante en el desarrollo del país; sin embargo, como toda industria de la transformación, también genera residuos que deben disponerse de manera tal que no contaminen el ambiente.

En general, en estas industrias, la manera más frecuente de tratar los residuos, es mediante la aplicación de sistemas de control de la contaminación al final de los procesos que la generan, es decir, cuando los residuos ya se produjeron. Este procedimiento conlleva una carga para la empresa, ya que al tener que ingresar al costo del producto, los costos inherentes al tratamiento y disposición de los residuos, su competitividad se reduce; en cambio, si se aplican medidas para prevenir la contaminación, se reduce sustancialmente este problema, ya que para esto solamente se requiere un cambio de actitudes y la elaboración y ejecución de un programa adecuado para mejorar la tecnología existente.

En cualquier empresa, un programa de prevención y disminución de la contaminación, consiste de una serie de actividades para identificar oportunidades de mejora, tanto ambientales como económicas, principalmente en el proceso productivo. Para lograrlo, es necesario involucrarse en cada etapa de los procesos de producción con el fin de identificar los puntos de oportunidad donde se pueden realizar modificaciones o cambios de tecnología, buscando reducir el impacto al ambiente y el incremento de la eficiencia de los procesos productivos, a través de la realización de los balances de materia y energía correspondientes, los cuales pondrán de manifiesto qué cambios habrán de realizarse para lograr el objetivo planteado.

En este trabajo, se realizó un estudio de prevención y disminución de la contaminación en una industria fundidora de aluminio a presión, en la que se identificaron 14 oportunidades, mismas que se evaluaron desde el punto de vista ambiental y económico (generación de contaminantes, disminución de emisiones y ahorros generados). De las oportunidades identificadas, siete de ellas resultaron factibles de implantar en la empresa; de ellas, destacan que el cambiar los hornos actuales por hornos de inducción y se instala un sistema para controlar de manera estricta la relación aire/combustible, se incrementa la eficiencia de producción y se dejan de emitir del orden de 2,773 kg/año de gases de combustión a la atmósfera.

Para la implantación de las oportunidades detectadas, se estimó que es necesario una inversión inicial de \$ 623,946.00, cantidad que puede amortizarse en un periodo menor al de un año, obteniéndose ahorros posteriores de \$1'020,394.00/año. Estos resultados justifican la inversión.

De implantarse todas o algunas de las oportunidades, se recomienda establecer un programa de seguimiento para observar el "antes" y "después", aspecto que puede realizarse verificando los cambios producidos en la generación de residuos y emisiones a la atmósfera, y en la utilización de los insumos, incluyendo la energía eléctrica y la productividad de la empresa.

Cabe señalar que la metodología para la realización de este tipo de estudios, consta de cinco fases, siendo la última de éstas la que corresponde a la etapa de implantación, por lo que en este trabajo sólo se llega hasta la cuarta fase, indicando solamente las oportunidades factibles de implantar, bajo un criterio de menor impacto al ambiente, ahorros económicos para la empresa e incremento en su eficiencia productiva, aspecto que puede lograrse a través de cambios en la materia prima, en la tecnología y modificaciones en el proceso productivo y en el uso eficiente de la energía.

I. INTRODUCCIÓN

El arte de la metalurgia comprende la obtención de metales partiendo de minerales o del estado en el cual se encuentran en la naturaleza; del afino y de aleaciones con otros metales y finalmente su manufactura en perfiles y formas útiles para la industria. El campo de la metalurgia puede ser dividido en dos partes: La primera trata de la fusión y afino de los metales y se le designa como Metalurgia Química o de Proceso. La segunda parte estudia el comportamiento físico y químico de los metales durante las operaciones de tratamiento y moldeado, así como, el comportamiento de los mismos cuando se ponen al servicio del hombre. Esta fase se le conoce como Metalurgia Física (Kirk-Othmer, 1994).

En 1995, el número de empresas dedicadas a la fundición en México, según datos de la Asociación Mexicana de fundidores, A.C, era de 1143, pero, debido a la inestabilidad económica, actualmente sólo existen 618 establecimientos registrados.

Debido a que la mayoría de las empresas de fundición no cuentan con equipo de control de emisiones atmosféricas, descarga de aguas residuales, manejo de residuos peligrosos etc., se considera al sector de la fundición como una fuente de contaminación ambiental.

Para analizar esta situación en México se han llevado a cabo proyectos de prevención y disminución de la contaminación en empresas nacionales, donde se han involucrado hasta siete empresas al mismo tiempo, obteniendo resultados satisfactorios como son: ahorros en consumos de combustible, de energía eléctrica, reducción en la generación de residuos y emisiones y reducción en los costos de acabado.

La prevención de la contaminación ofrece una alternativa para enfrentar los nuevos retos de competitividad de la industria, mediante el mejoramiento de la eficiencia de la empresa en los campos de protección ambiental y productivo en forma simultánea. Las actividades de prevención de la contaminación en México son todavía incipientes y enfrentan una serie de obstáculos que deben preverse para garantizar el éxito de dichas actividades. Los obstáculos más comunes en la promoción e instrumentación de estudios de prevención de la contaminación en nuestro país, se relacionan con aspectos de carácter político, organizativo y cultural, más que con elementos de naturaleza técnica o tecnológica (Freeman, 1992).

Uno de los principales conceptos que se pretenden manejar en este trabajo es el de la disminución de la contaminación, que se define como "una estrategia preventiva e integrada que contribuye a la protección ambiental y al desarrollo industrial. Su objetivo es el uso eficiente de los recursos demandados por los procesos industriales y la disminución de los residuos generados, desde su origen, que impactan negativamente al ambiente. Esta definición hace hincapié en el

proceso productivo, el cual indica el punto central del programa de prevención de la contaminación, sin embargo también subraya la importancia del ciclo de vida de la materia prima para alcanzar una solución sustentable a los programas ambientales causados por el sector industrial".¹

La prevención de la contaminación puede desempeñar un papel sumamente importante en la incorporación de la industria mexicana a la competencia internacional, ya que no sólo se protege al ambiente, sino además trae consigo el ahorro de materiales, mejorar la eficiencia en el uso de la energía, mejorar las condiciones del medio laboral, y además se propicia el uso eficiente de la tecnología existente en la empresa.

En este trabajo se llevó a cabo la aplicación de una estrategia para prevenir y disminuir la contaminación, dando alternativas a la empresa para mejorar su proceso productivo y generar un menor impacto al ambiente.

En el capítulo 1 de este trabajo se presentan los objetivos, alcances y antecedentes sobre el proceso de la fundición. El capítulo 2 muestra una metodología para llevar a cabo un estudio de prevención y disminución de la contaminación a través de 5 fases en las que se involucran alrededor de 20 actividades a desarrollar. El capítulo 3 reúne los resultados obtenidos de los balances de materia y energía asociados a los hornos de reverbero y hornos de crisol, posteriormente se muestra el análisis económico y ambiental para seleccionar las oportunidades más viables a implementar dentro de la empresa en el capítulo 4, de estos resultados se desprenden conclusiones y sugerencias que se presentan después de las evaluaciones y jerarquización de las oportunidades en el capítulo 5.

Se evaluaron 14 oportunidades de las cuales 7 de ellas representan ahorros anuales de \$1,020,394.

El llevar a cabo la implementación de estas oportunidades implica modificaciones dentro del proceso productivo, cambio de tecnología como es el caso de los hornos y cambio de materia prima.

Es importante señalar que este trabajo solo ofrece alternativas para hacer más eficiente el proceso y disminuir la contaminación al aire, suelo o agua. La empresa decidirá si desea implantar las oportunidades de mejora, en caso de que se decida es necesario un seguimiento a cada oportunidad para evaluar los beneficios reales que se están obteniendo a través de la fase 5 planteada en la metodología y que en el presente estudio no se realizó.

¹ Guías de Producción más limpia. Fundición; Producción más limpia en el sector de la fundición, 1998, Instituto Politécnico Nacional. Primera edición. México D.F.

1. OBJETIVOS

- El principal objetivo es el de establecer un programa de prevención de la contaminación en una empresa mexicana dedicada a la manufactura de piezas de aluminio por el proceso de fundición a presión.
- Determinar oportunidades de mejora en los procesos de fundición de aluminio a presión y, minimizar tanto la contaminación al ambiente como los costos de producción, mediante el uso eficiente de los materiales y energía utilizados en la producción de piezas de aluminio, para cumplir con las disposiciones oficiales que marca la legislación mexicana en materia de protección ambiental para este giro industrial (contaminación de aire, suelo y agua).

1.1 ALCANCES

El estudio se llevó a cabo en una planta de fundición de aluminio a presión, en la que se analizó detalladamente cada uno de los procesos que conforman el sistema para la obtención de las piezas de aluminio, y durante cada una de las etapas de fabricación, se identificaron situaciones en las que se puede hacer alguna mejora para disminuir los contaminantes ya sea al agua, suelo o al aire. Una vez que se identificaron estos puntos mediante un seguimiento en el tren de producción, se decidió en que parte del proceso conviene alguna modificación o cambio de tecnología para obtener un menor impacto en el ambiente y de esta manera generar beneficios ambientales y económicos para la empresa.

1.2 ANTECEDENTES

El Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMPL) fue establecido en diciembre de 1995 como parte del proyecto mundial de los Centros Nacionales de Producción más Limpia (CNPL), que en su primera etapa consideró la instalación de 10 centros en países en desarrollo o con economías en transición. Este proyecto es una iniciativa conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en respuesta a la necesidad ineludible de crear una estrategia que reconcilie las demandas del crecimiento poblacional, el deseo de continuar con el desarrollo industrial como promotor de la economía y la necesidad de preservar el ambiente en el camino hacia la sustentabilidad de los recursos globales que no pongan en riesgo el futuro de nuevas generaciones.

En México, el CMPL está respaldado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), en colaboración con la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (Canacintra) y el Environmental Pollution Prevention Project (EP3) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, teniendo como sede las propias instalaciones del IPN.

En México existen 618 empresas activas dedicadas a la fundición (De la Garza, 1999). Sin embargo, solamente se dispone información de 250 empresas, con una producción promedio de 701 243 toneladas anuales.

El 51% del metal vaciado corresponde a la fundición del hierro gris, 33% al aluminio, 9% a hierro nodular, 3% al acero, 3% a lingotes de aluminio y 1% a cobre y aleaciones. El 70% de la producción se destina al mercado nacional y el restante a la exportación. (Guías de Producción más Limpia, 1998)

La industria de la fundición proporciona 54 331 empleos, de los cuales el 79% corresponde a personal obrero. Las operaciones que demandan mayor número de trabajadores son las relativas al proceso de fundición: fusión, moldeo, corazones, desmoldeo, limpieza y moldes (54.7%), las actividades de mantenimiento (9%), control de calidad (5%), administrativas (12.6%) y otras (18.6%). El 70% de las empresas no cuentan con programas de capacitación.

En el aspecto ambiental, la mayoría de las empresas de fundición carecen de equipo de control de emisiones de los contaminantes, por lo que el Instituto Nacional de Ecología, considera al sector de la fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas como una industria que impacta negativamente las condiciones de la calidad de aire, agua y suelo en las ciudades de México, Monterrey, Guadalajara, Puebla, San Luis Potosí, Ramos Arizpe, Saltillo y Monclova (Rovalo, Magdalena y Álvarez, Rosario, 1999). Así mismo, la Comisión Metropolitana de la Ciudad de México (1999) la clasifica como de atención prioritaria.

El enfoque de prevención de la contaminación en la gestión ambiental industrial demanda un nuevo orden de jerarquías.

- Prevención
- Reciclaje
- Tratamiento
- Disposición segura

En cuanto a la prevención de la contaminación, su objetivo es el de usar eficientemente los recursos demandados por los procesos industriales y la disminución de los residuos generados, desde su origen que impactan negativamente al ambiente. Para productos y servicios, los puntos estratégicos se centran en la reducción de los efectos negativos al ambiente a lo largo del ciclo de vida del producto, desde la extracción de los materiales y servicios hasta su

disposición final. La experiencia en prevención de la contaminación muestra que se pueden implementar mejoras en el proceso industrial, sin ningún costo adicional o bien con costos relativamente bajos.

Esta definición hace hincapié en el proceso productivo, lo cual indica el punto central del programa de prevención de la contaminación. Sin embargo, también subraya la importancia del ciclo de vida para alcanzar una solución sustentable a los problemas ambientales causados por el sector industrial.

El programa de prevención y disminución de la contaminación se enfoca al potencial de ahorro directo en el mismo proceso de producción y al ahorro indirecto por la eliminación de costos asociados con el tratamiento y la disposición final de residuos, como método para lograr un uso eficiente de materias primas y energía, reducir la descarga de contaminantes desde la fuente al menor costo y con periodos cortos de amortización de las inversiones.

La prevención y disminución de la contaminación, generalmente ofrece una mejora al ambiente, así como ahorro en los costos y mejora la eficiencia de las operaciones, por lo que facilita a los negocios y a las organizaciones para alcanzar sus metas ambientales y económicas.

La implementación de la prevención y disminución de la contaminación involucra un cambio de actitudes en el pensamiento sobre el ambiente y la producción.

Esto implica identificar, entre otras características; las oportunidades de mejor uso de materias primas, minimización de residuos y emisiones, uso racional de energía, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, mejorar el control administrativo del proceso e incrementar la rentabilidad de la empresa.

1.2.1 El proceso de fundición

La industria de la fundición comprende una serie de instalaciones, en donde el metal sólido se funde y se vacía o inyecta en moldes de arena o metálicos, obteniendo así una forma única, prácticamente imposible de lograr por otros métodos. Las fundidoras producen metal líquido a partir de chatarra sucia, lingotes y retornos de la fundición.

De acuerdo a la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1992), la base más efectiva de subcategorización es por tipo de metal fundido:

- Fundición de aluminio
- Fundición de cobre
- Fundición de hierro y acero

- Fundición de magnesio
- Fundición de zinc
- Fundición de plomo

El proceso de fundición incluye varios pasos integrados, sin embargo, se considera que la fundición se puede representar por tres procesos generales; precedidos de la preparación y manejo de materiales, y seguidos del control y disposición de las emisiones atmosféricas, aguas residuales y residuos:

- Moldeo o producción de moldes y corazones
- Fundición y vaciado de metal
- Acabado de piezas fundidas

Dentro de la preparación y manejo de materiales se incluyen la recepción, descarga, almacenamiento y transporte de todas las materias primas, tanto para la carga del horno como para la preparación de moldes y corazones.

Estos moldes le dan forma exterior a la pieza, mientras que los corazones llenan su volumen interno. Cuando los materiales se solidifican, el moldeo se retira dejando una cavidad en el molde. En algunas operaciones de vaciado, el moldeo permanece dentro del molde y se quema con el metal fundido. El proceso de moldeo más común es el denominado "en verde"

El recubrimiento de los moldes y corazones que sellan la superficie en contacto con el metal líquido durante el vaciado, se realiza para evitar que se quemen o peguen los moldes/corazones y para prevenir la penetración del metal dentro de la superficie de arena. Estos recubrimientos tienen bases de óxidos refractarios finamente disgregados y silicatos o material carbonáceo.

Las materias requeridas para cargar el horno dependen del material a fundir por ejemplo:

- Los materiales utilizados para la producción de hierro fundido son chatarra de hierro y los retornos de fundición. Los fundentes incluyen carbonatos (dolomita y caliza), fluoruros (fluorospato) y compuestos de carburo de calcio.
- Los materiales empleados para producir acero fundido son la chatarra de acero, los retornos de fundición y los aleantes que incluyen, FeMn, FeSi, SiMn, y grafito.
- Para la producción de aluminio fundido, se utilizan lingotes y chatarra de aluminio y fundentes como "alufin", "alumod", y "tilite" entre otros.

Las operaciones básicas del proceso de fundición son las siguientes:

- Cargado del horno. El metal, la chatarra, los retornos, las aleaciones y los otros materiales alimentan al horno.
- Fusión de la carga, es decir fundimiento del metal (durante esta actividad el horno permanece cerrado)
- Recargado del horno, la adición de metal y aleaciones según lo necesite el horno.
- Refinación y tratamiento. En este proceso la composición química se ajusta para cumplir las especificaciones del producto.

En lo que se refiere a la escoria, la remoción de la misma en el horno, se realiza a través de una puerta o toma de salida. Ya que la escoria es más ligera que el metal fundido, ésta se mantiene en la superficie del metal y, de esta manera, se puede extraer del horno.

Los combustibles usados para la fundición del metal son carbón, diesel, gas natural, gas LP, energía eléctrica y coque. Los hornos de reverbero se alimentan de carbón, diesel, gas natural y gas LP.

El coque un derivado del carbón se emplea como combustible en los hornos de cubilote, los hornos de arco eléctrico requieren electrodos, mientras que los hornos de inducción requieren energía eléctrica.

Existen diferentes hornos para llevar a cabo la fundición del aluminio, cada industria tiene sus propios productos por lo que eligen el horno más apropiado de acuerdo a las características y calidad que desea cada una para su producto final.

A continuación se mencionan algunos de los hornos más utilizados en la industria de fundición en México.

Horno de cubilote.- Es el más común en la industria, está compuesto por un cilindro de acero con recubrimiento interno de material refractario. Los recubrimientos refractarios, pueden ser ladrillo, arcilla, dolomita o magnesio.

Este es el único horno que utiliza coque como combustible.

Hornos eléctricos de inducción.- Son recipientes cilíndricos de acero con recubrimiento refractario, rodeados por un serpentín eléctrico que, cuando se energiza con corriente alterna de alta frecuencia produce un campo electromagnético fluctuante que calienta la carga metálica. Por razones de seguridad, la chatarra adicionada a la carga del horno se limpia y precalienta antes

de ser introducida ya que cualquier cantidad de grasa o humedad puede provocar una explosión.

Hornos de arco eléctrico.- Son recipientes cilíndricos de acero soldado, equipados con tapas removibles donde se insertan electrodos de carbón retráctiles. Los electrodos bajan a través de la tapa del horno y se energizan con corriente trifásica, creando los arcos eléctricos que funden la carga metálica con el calor generado. El calor adicional se produce por la resistencia del metal entre la trayectoria de los arcos. El método más común de cargar el horno de arco eléctrico, es removiendo la tapa e introduciendo los materiales directamente.

Hornos de crisol.- Son recipientes cilíndricos, de metal o cerámica, los más frecuentes son de carburo de silicio o grafito, con revestimiento de fibras cerámicas de alta temperatura. El metal se funde en el crisol, calentado exteriormente por los gases de combustión producidos en un quemador de combustible líquido o gaseoso. Los hornos de crisol pueden ser fijos, para mantener la temperatura del metal fundido, y basculantes, para fundir y vaciar el metal. Estos hornos se utilizan principalmente en la fusión de metales no ferrosos pesados (bronce, latón, etc.) y ligeros (aleaciones de aluminio, magnesio), y en aleaciones de bajo punto de fusión. La capacidad de estos hornos es muy variable. Los hornos de crisol también pueden ser de resistencia eléctrica.

Hornos de reverbero.- Consisten de un corazón superficial, comúnmente rectangular, con paredes laterales finales y un techo o arco, la carga descansa sobre el corazón y el horno funciona con gas, diesel o carbón pulverizado, el cual se quema en el espacio entre la carga y el techo, la transferencia de calor se alcanza principalmente por radiación directamente de la flama y por reflexión del techo refractario arqueado. Existe poca o ninguna reacción entre la carga y los gases gastados que salen del horno a muy alta temperatura. La alimentación es una de las ventajas que ofrece este tipo de horno, ya que puede recibir, a través de las puertas laterales o por la parte superior, desde partículas, hasta pacas de chatarra, dependiendo del diseño y del agente reductor. La escoria se remueve por tomas y el metal fundido se puede extraer continuamente o en lote. Los hornos de reverbero se fabrican de muchos tamaños desde una tonelada de metal hasta cientos de toneladas.

Una vez que el metal fundido se ajusta hasta alcanzar la composición química deseada, se transfiere al área de vaciado en cucharas o crisoles. El metal fundido se vacía a los moldes y se transporta al área de enfriamiento, donde se solidifica.

Cuando la pieza esta fría completamente se limpia con un chorro de arena o con esmeriles según sea la calidad de su acabado.

Como puede observarse por lo descrito en los párrafos anteriores, la industria de la fundición es uno de los sectores industriales que producen mayor contaminación atmosférica (ONUDI, 1995), por la cantidad de polvos que se generan en el pulimento de las piezas.

Por otra parte cuando el metal se vacía a los moldes, los compuestos químicos de los sistemas aglutinantes sufren alguna descomposición térmica.

El principal problema de las aguas residuales en las fundidoras ocurre al limpiar las emisiones atmosféricas. Los componentes principales en el agua residual son partículas muy finas. En ocasiones también se pueden encontrar materiales como fenoles o agentes aglutinantes usados en las arenas, así como algunos ácidos y líquidos de limpieza.

Así mismo la generación de residuos esta directamente relacionada al tipo de material fundido y depende de la tecnología usada.

La escoria relativamente inerte, compuesta de óxidos metálicos del proceso de fusión, material refractario y otros materiales, se puede acondicionar con los fundentes, para facilitar su remoción del horno. La escoria se considera peligrosa cuando los materiales de la carga contienen cantidades significativas de metales pesados como plomo, cadmio y cromo; sin embargo, si no contienen estos metales, se pueden utilizar para pavimentar o rellenar calles y caminos.

En lo que se refiere a energía, este tipo de industrias hace uso de la misma en las diferentes etapas del proceso. En la tabla 1.1 se muestra la probable distribución del uso de la energía para diferentes operaciones en la fundición.

Tabla 1.1 Uso de la energía en las operaciones de fundición (ONUDI, 1995)

PROCESO	PORCENTAJE
Fusión	48
Moldeo y elaboración de corazones	11
Vaciado, desmoldeo, limpieza y manejo	5
Tratamiento térmico	6
Control ambiental	6
Sistema Neumático	24

A continuación se describe a fondo el proceso de fusión a fin de poder diagnosticar y evaluar las oportunidades viables de prevención y disminución de la contaminación en el mismo proceso productivo².

² Hufnagel, W. "Manual del Aluminio". Segunda edición. Editorial Reverté. México, D.F 1992. p. 389

Preparación del caldo

Se conoce como caldo al metal líquido producido por las fundidoras a partir de chatarra sucia, lingotes y retornos de la fundición.

La preparación del caldo en la fundición de aluminio es de importancia decisiva con vistas a la calidad de la pieza de aluminio fundida, ya que de la limpieza y homogeneidad del caldo dependerá el cumplimiento de las especificaciones del producto final. En la figura 1.1 se muestra la preparación del caldo en el horno de reverbero.

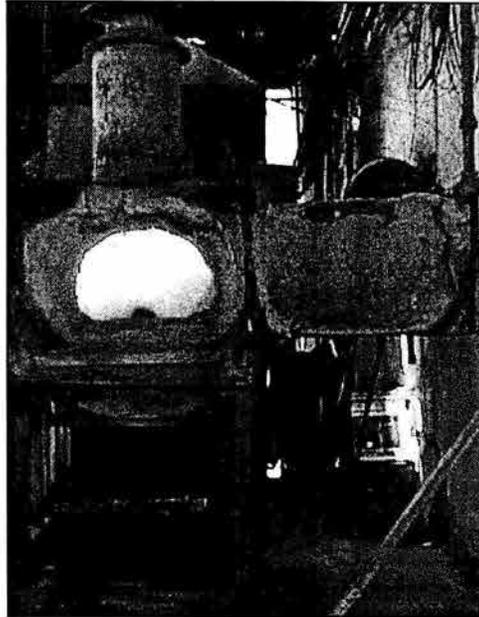


Fig. 1.1 Preparación del caldo

Oxidación del caldo

El aluminio y sus aleaciones se recubren ya a la temperatura ambiente con una delgada capa de óxido, debido a su gran afinidad con el oxígeno, haciéndose cada vez más gruesa con el aumento de la temperatura.

El grado de oxidación durante el proceso de fusión depende de la composición de la aleación, de la temperatura y tiempo de fusión, del tipo de horno y de su calentamiento, tamaño de la superficie del baño y tipo de material utilizado.

Durante el trasvase del metal en hornos de conservación del calor y de fundición, así como el verterlo en el molde, aumenta el contenido de óxidos del caldo por su mayor contacto con el aire.

Las aleaciones de aluminio que contienen Zinc y Magnesio, así como las que contienen sodio son especialmente sensibles a la oxidación.

Absorción de hidrógeno por el caldo

El aluminio en estado líquido posee una elevada capacidad para disolver el hidrógeno que se desprende cuando reacciona con el vapor de agua según la ecuación:



y es absorbido inmediatamente por el caldo en forma atómica. El vapor de agua puede tener la siguiente procedencia: humedad del material de partida, del revestimiento del horno, del material del crisol, de los moldes, del fundido y del fundente, la combustión de combustibles gaseosos y líquidos, así como humedad atmosférica. La cantidad de hidrógeno disuelto en el aluminio depende de la presión parcial de hidrógeno en la atmósfera, de la temperatura del metal y de la composición de la ecuación, así el Cu y Si disminuyen la absorción de hidrógeno y el magnesio la aumenta³.

Para evitar una elevada absorción de hidrógeno y óxidos, deberá evitarse todo sobrecalentamiento innecesario durante la fusión. Es necesario un control permanente de la temperatura, lo cual ayuda a obtener una calidad uniforme del fundido, (formación de la estructura por la influencia de la nucleación). Se deben evitar las variaciones en la composición de la aleación. Finalmente debe observarse que algunos elementos de la aleación se oxidan o se volatilizan a temperaturas determinadas. Así por ejemplo, el magnesio se inflama por sobrecalentamiento. Para evitar una absorción de hierro indeseada se deben alisar los aparatos utilizados y eliminar el empleo de alambres de núcleos y clavijas de molde que tengan hierro adherido.

Limpieza del caldo

A pesar de las medidas de precaución mencionadas anteriormente, no es posible evitar por completo la absorción de óxidos, hidrógeno y otras impurezas, de modo que se hace necesario un tratamiento del fundido para eliminarlas.

La limpieza del caldo se ha de realizar inmediatamente antes del vertido, puesto que un tratamiento de limpieza en el curso del proceso, realizado demasiado pronto, puede ser ineficaz debido que durante el transporte, o en el trasvase del caldo, vuelva a ensuciarse el fundido; así por ejemplo, el contenido en hidrógeno de un caldo puede aumentar considerablemente durante el trasvase, según la humedad que tenga el medio (aire)⁴.

³ Ibidem p. 392

⁴ Ibidem p. 405

Tratamiento con gases

El hacer pasar gas a través del metal líquido ha demostrado ser particularmente eficaz, debiendo distinguirse entre los gases con acción física de lavado (gases inertes) y aquellos en los que se produce una reacción química durante el tratamiento. Entre los primeros se cuenta con el nitrógeno. Al disminuir la presión parcial del hidrógeno durante su paso a través del metal líquido se elimina el hidrógeno disuelto, simultáneamente se lavan los óxidos y otras impurezas no metálicas elevándolas a la superficie.

El nitrógeno no es adecuado para las aleaciones Al-Mg debido a la posible formación de nitruros siendo mejor utilizar argón. Al hacer pasar cloro por el fundido se forma cloruro de aluminio, que se sublima; asciende a la superficie del baño y provoca con ello debido a su distribución firme y uniforme un lavado muy activo y la consiguiente eliminación de impurezas. Por razones económicas y sanitarias (el cloro es venenoso), y también de tipo ecológico, se utiliza actualmente más bien mezclas de cloro-nitrógeno 80-90% en nitrógeno. Cuando se usa cloro debe tenerse en cuenta que el magnesio presente reacciona con el cloro formando cloruro de magnesio, pudiendo disminuir el contenido de magnesio del caldo en función de la temperatura y del tiempo.

El contenido de hidrógeno después de la fusión y de la desgasificación depende, en primer lugar, de la aleación, también fuertemente del modo de calentar el agregado que se funde y de los agregados y de los procesos ulteriores de tratamiento del fundido (afino, reducción del tamaño del grano).

Para comprender un aspecto más técnico de la desgasificación, citamos a continuación una definición de un proveedor en la industria de la fundición. "La desgasificación del metal es un proceso que se está utilizando mucho actualmente y que consiste en la introducción de gases inertes al aluminio líquido para provocar gran movilidad del mismo y que tanto la escoria como partículas externas puedan ser eliminadas del metal. Ciertos estudios dicen que la desgasificación es bastante eficaz pero que casi se puede obtener el mismo efecto dejando el aluminio en reposo, después de la fusión durante dos o tres horas para que se produzca decantación natural de esos elementos y luego la utilización de filtros para eliminar alguna que otra partícula".⁵

Tratamiento con fundentes

Los fundentes (sales) se usan tanto más cuanto más sucio o más desmenuzado se encuentre el material de partida, hacen además de "reguladores de secado", que emplean la espuma que cubre la superficie del baño y separan las gotitas de aluminio del material oxidado, aligerando así su flujo conjunto. Un fundente eficaz debe poseer las siguientes características:

⁵ Hornos y Metales S.A. (HORMESA), Limcastig S.A. de C.V. (lubricantes y desmoldantes para fundición a presión)

- Baja viscosidad
- Insolubilidad en el aluminio
- Menor densidad que el aluminio
- Tensión de vapor lo más baja posible a la temperatura de trabajo
- Ataque mínimo a las paredes del horno y al material del crisol
- Acción escoriante sobre las impurezas no metálicas

Los fundentes contienen con frecuencia, componentes higroscópicos, debiendo conservarse por eso en lugares secos.

Según la forma de actuar y la composición, se pueden distinguir dos grupos de fundentes.

- Sales de cobertura.- que deben disminuir las pérdidas metálicas y sirven para evitar la oxidación y absorción de gases en caldos de bajo punto de fusión. Además, tienen la propiedad de retener el óxido de aluminio que flota en la superficie y separarlo ampliamente del metal que se le adhiere. Las sales de cobertura están formadas por cloruros y fluoruros de metales alcalinos mezclados con criolita.
- Sales de limpieza o lavado.- sirven para la eliminación de las impurezas no metálicas existentes en el caldo. Su acción debe atribuirse en mayor parte a un efecto de flotación y también a reacciones químicas. Las mezclas constan fundamentalmente de cloruros de sodio y potasio junto con fluoruro sódico y potásico. Por su acción purificadora del caldo poco antes del vertido, mejoran esencialmente la fluencia en la operación de la colada.

Filtrado del caldo

Los óxidos y otras impurezas sólidas se pueden separar del metal fundido por filtración. Se mejora así la capacidad de fluencia del metal.

Tratamiento del caldo para mejorar la estructura

Afino del grano

Según el tipo y curso de la solidificación puede presentarse en algunas aleaciones de aluminio una estructura basta que tiene menor resistencia que la estructura de grano fino, se puede conseguir una estructura de grano más fino con características mejores por adición de sustancias nucleantes en el caldo. Los afinadores de grano que se añaden generalmente en forma salina, reaccionan con el caldo según procesos complicados y actúan en forma de boruro de aluminio, boruro de titanio y carburo de zirconio, como núcleos auxiliares. Tales preparados (en parte junto con aditivos de polvo de aluminio y carbono) se pueden conseguir

en el mercado bajo distintos nombres. Los aditivos de titanio y boro se consiguen, también en forma de bloque y alambre, como aleaciones madre (por ejemplo 5% de titanio, 1% de boro). El afino del grano de las aleaciones Al-Si hipereutéticas tienen lugar mediante la adición de fósforo. Se trata con esto de un afino del silicio primario, separado debido a los núcleos de fósforo de aluminio. La adición de fósforo se realiza en forma del compuesto químico pentafluoruro de fósforo o de preparados que contienen fósforo rojo y hexacloroetano. Ambos medios de afino se consiguen en forma de tabletas y poseen al mismo tiempo acción desgasificadora.⁶

Afino de las aleaciones Al-Si

Se designa afino al proceso metalúrgico mediante el cual al adicionar pequeñas cantidades de sodio (hoy también estroncio) a aleaciones Al-Si eutéticas e hipoeutéticas, se consigue un eutéctico con una estructura especialmente fina. El contenido de sodio debe hallarse en un porcentaje del orden de centésimas. De esta manera se pueden mejorar las características mecánicas de la pieza fundida. Se distinguen fundamentalmente, tres tipos característicos de estructura eutéctica de Al-Si.

- Estructura laminar: cristales de silicio, la mayor parte de las veces aciculares, ordenados en grupos en forma radial
- Estructura granular: cristales de silicio poliédricos, en forma de varillas o láminas gruesas, distribuidos en parte desordenadamente
- Estructura afinada: cristales de silicio muy finos y compactos

Para que se produzca cada una de las modificaciones estructurales son decisivas la velocidad de enfriamiento y la presencia de ciertos elementos a baja concentración, así por ejemplo, para el enfriamiento de la estructura granular es decisivo un escaso contenido de fósforo.

En el afino con sodio, cantidades mínimas de éste provocan un subenfriamiento y un desplazamiento de la concentración eutéctica hacia contenidos más altos de silicio. Debido a la obstaculización de la difusión de los átomos de silicio en el caldo y del crecimiento cristalino, se forman cristales muy finos y de aspecto más o menos redondeado. La estructura corresponde a la de un edificio enfriado muy rápidamente, que presenta muy buenas características de resistencia mecánica. La introducción del sodio se realiza mediante sodio metálico, sales, tabletas o medio de afino en bloques. En este último caso se trata de refinadores para uso especial en hornos de vertido que se descomponen lentamente y ceden a la vez sodio, durante largo tiempo.

⁶ Hufnagel, W Op. Cit. p. 393

En los últimos años se ha impuesto cada vez más el afino con estroncio. Esto vale especialmente para colada por gravedad y la que se utiliza en coquilla con depresión.

Frente al afino con sodio, el estroncio tiene una acción afinadora de gran duración (punto de fusión de estroncio 757 °C, punto de ebullición 1366 °C), además, los fluidos afinados con estroncio, muestran un mejor comportamiento en la fluidez. Por eso en las industrias metalúrgicas suministran actualmente a las fundeías aleaciones Al-Si hipoeutécticas y eutécticas en el estado que se suele designar como refinado de larga duración, con un contenido de estroncio de algunas centésimas.⁷

⁷ Ibidem p.p 393-400

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para este trabajo consistió en dar seguimiento a las etapas para efectuar un estudio de prevención y disminución de la contaminación conformada por 5 fases en las que se tiene que desarrollar diferentes actividades como se muestra en la tabla 2.1. El presente estudio abarca hasta la fase 4, ya que solo se darán alternativas factibles de implantación para una mejora ambiental y económica a la empresa, para cumplir con lo estipulado por lo que marca la ley en materia ambiental, y es el Director de la fábrica quién decidirá si se implementan o no estas oportunidades, en caso de ser positiva esta decisión se requiere de dar seguimiento a la fase 5 y desarrollar las actividades correspondientes para evaluar el “antes” y “después” de cada oportunidad implantada, esta etapa puede servir como otro tema de tesis a desarrollar.

Tabla 2.1 Etapas para efectuar un estudio de prevención y disminución de la contaminación (CPML, 1998)

Fase 1. Planeación y Organización	
Actividad 1.	Involucrar y obtener el compromiso a nivel gerencial
Actividad 2.	Establecer el equipo conductor del estudio
Actividad 3.	Establecer las metas de prevención de la contaminación
Actividad 4.	Identificar barreras y soluciones
Fase 2. Evaluación Previa	
Actividad 5.	Desarrollar el diagrama de flujo de proceso
Actividad 6.	Medir las entradas y salidas del proceso
Actividad 7.	Seleccionar las metas de prevención y disminución de la contaminación
Fase 3. Evaluación	
Actividad 8.	Elaborar el balance de materiales
Actividad 9.	Evaluar las causas
Actividad 10.	Generar opciones de prevención y disminución de la contaminación
Actividad 11.	Seleccionar las opciones de prevención y disminución de la contaminación
Fase 4. Estudio de factibilidad	
Actividad 12.	Evaluación preliminar
Actividad 13.	Evaluación técnica
Actividad 14.	Evaluación económica
Actividad 15.	Evaluación ambiental
Actividad 16.	Seleccionar opciones factibles
Fase 5. Implantación	
Actividad 17.	Preparar el plan de prevención y disminución de la contaminación
Actividad 18.	Implantar las opciones de prevención y disminución de la contaminación
Actividad 19.	Supervisar y evaluar el avance
Actividad 20.	Mantener las actividades de prevención y disminución de la contaminación

FASE 1. PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN

Actividad 1. Involucrar y obtener el compromiso a nivel gerencial

En la primera actividad de la fase uno, la gerencia de la empresa debe comprometerse a dar el apoyo a la prevención y disminución de la contaminación cuando este convencida de sus beneficios. Sin este compromiso no habrá acciones ni resultados reales.

Actividad 2. Establecer el equipo conductor del estudio

Para llevar a cabo la segunda actividad es necesario incluir a representantes de todas las partes interesadas en el equipo de estudio, ya que la evaluación de prevención y disminución de la contaminación afectará a diversos sectores dentro de la empresa.

La integración adecuada del equipo dependerá del tamaño y de la estructura de la organización. Las empresas pequeñas en las que cada empleado desempeña diversos cargos pueden formar un equipo de dos o tres personas para llevar a cabo la evaluación. El equipo conductor del estudio es responsable del progreso de la evaluación.

Se pueden identificar muchas actividades, sin embargo las más importantes son:

- Analizar y revisar las prácticas actuales (conocimientos)
- Desarrollar y evaluar los cambios (creatividad)
- Implantar y mantener los cambios (autoridad)

La gente que forme parte del equipo debe tener presente y de una manera muy clara los retos a los que se enfrenta cada empresa, en la figura 2.1 se muestran algunos de estos retos.



Figura 2.1

Actividad 3. Establecer las metas de prevención y disminución de la contaminación

Las metas serán definidas conforme el equipo conductor del estudio obtenga una mayor comprensión de las posibilidades de prevención y disminución de la contaminación de la empresa. Las metas de prevención y disminución de la contaminación serán estudiadas a fondo, ya que deben ser lo suficientemente ambiciosas como para motivar un esfuerzo significativo respecto de la prevención y disminución de la contaminación, pero al mismo tiempo deben ser lo suficientemente realistas como para alcanzar una medida adecuada de éxito.

Para ilustrar la importancia de establecer metas, se pueden citar numerosos ejemplos de empresas que han alcanzado un rápido crecimiento o que han mantenido una fuerte posición gracias a la estrategia que siguen, de la misma manera que se puede acudir al caso de organizaciones que han tenido resultados adversos por una estrategia equivocada.

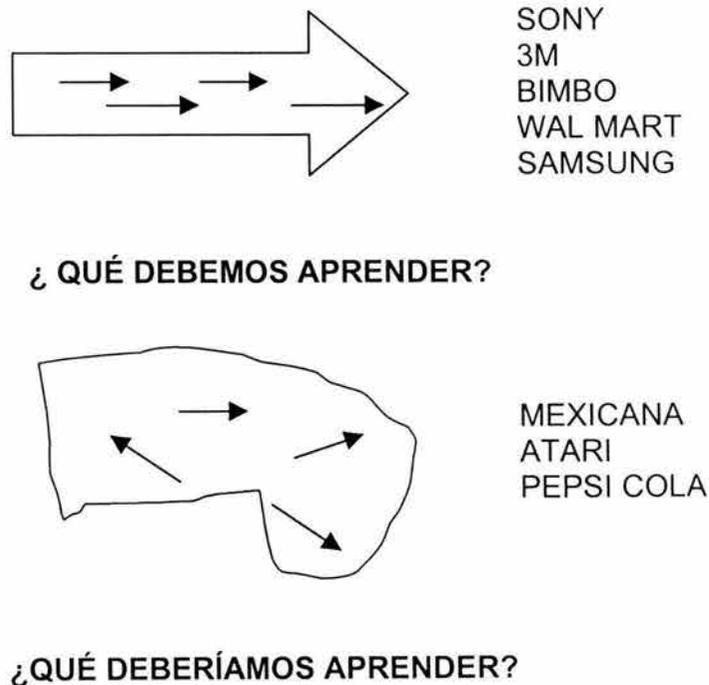


Figura 2.2

Las empresas como 3M, Bimbo, Sony cuentan con un departamento exclusivo de Ingeniería ambiental.

Algunos criterios para formular las metas son:

- Costos (mano de obra, servicios, tecnología, mantenimiento, materias primas y otros).

- Cantidades utilizadas de materias primas y sustancias peligrosas
- Condiciones de operación y proceso (controles, registros, datos históricos)
- Inflamabilidad y reacciones químicas
- Emisiones al agua, aire y residuos sólidos y peligrosos
- Costos de residuos, emisiones y energéticos
- Método de disposición (reciclaje en y fuera del sitio, relleno sanitario)
- Efectos en la salud

Actividad 4. Identificar barreras y soluciones

Las barreras se pueden identificar en las actividades del personal y la gerencia, la falta de información, el tipo de organización de la empresa, los problemas económicos, la falta de información técnica etc.

La primera actividad para vencer estas barreras es lograr una concientización sobre los beneficios de la prevención y disminución de la contaminación no es un proceso de asignación de culpas, sino más bien un proceso en el que todos se sienten libres y cómodos para presentar sugerencias e ideas.

FASE 2. EVALUACIÓN PREVIA

Actividad 5. Desarrollar el diagrama de flujo de proceso

La preparación del diagrama de flujo del proceso detallado y correcto es la actividad clave de la evaluación de la prevención y disminución de la contaminación y forma la base de la compilación de los balances de materia y energía.

El diagrama de flujo debe atender especialmente los diversos pasos frecuentemente soslayados en los diagramas de flujo tradicionales, estos incluyen:

- Almacenamiento y manejo de materiales
- Mantenimiento y reparaciones de equipo
- Productos secundarios liberados al medio ambiente como emisiones fugitivas

Deben detectarse de manera apropiada los materiales que se utilizan ocasionalmente y que no aparecen en los flujos de producción como (catalizadores, aceite refrigerante, aire comprimido y acondicionado, vapor, parámetros eléctricos, etc.), los procesos periódicos, por lotes y continuos.

Actividad 6. Medir las entradas y salidas

Durante esta actividad se hace un cálculo general de las cantidades de materias primas, auxiliares, productos primarios y secundarios, residuos y emisiones producidas, energía eléctrica y energía térmica, por cada proceso u operación unitaria.

A continuación se presentan los formatos para medir entradas y salidas típicas para los procesos de fundición a nivel industrial.

Tabla 2.2 Información de parámetros eléctricos de los motores

Voltaje, volts			Voltaje promedio	Corriente Amperes			Potencia kW			F.P. %			Corriente prom.
1-N	2-N	3-N		Fase 1	Fase 2	Fase 3	1-N	2-N	3-N	1-N	2-N	3-N	

En este formato 1-N, 2-N, 3-N representan motores monofásicos, bifásicos y trifásicos respectivamente.

Tabla 2.3 Información de temperaturas en el sistema de enfriamiento

Torre de enfriamiento				
Temp. Agua °C			Temp. Ambiente °C	Humedad relativa %
Depósito	Entrada	Salida		

Los resultados de esta medición se utilizan para establecer el enfoque de la evaluación de prevención y disminución de la contaminación. La evaluación se basa en el sentido común más que en un cálculo.

En esta etapa se recomienda que no se intente elaborar un balance detallado de materiales con base en el proceso u operación unitaria. Esto se hace durante la fase de evaluación.

En esta etapa se debe considerar si el sistema de supervisión y análisis existente es adecuado. La información de las cantidades y la composición de las entradas y salidas se debe registrar de manera periódica con el fin de lograr una comparación "antes y después" sobre la opción de productos.

Tabla 2.4 Información del proceso de fundición

Colada Número _____ Fecha _____
 Material _____
 Hora empieza la carga _____ Hora termina el lote _____
 Lectura inicial kW _____
 Lectura final kW _____

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
1														
2														
3														
4														
sumas	kg	kg			kg							Total kg	Total	Valor total de venta

- a: pieza de referencia
- b: peso total cargado
- c: peso bruto total c/tipo de pieza
- d: peso bruto de pieza individual
- e: peso neto de pieza individual
- f : peso de desperdicios
- g: % aprovechamiento $e/d * 100$
- h: cantidad total de cada pieza
- i: cantidad final de rechazos
- j: cantidad final de piezas buenas
- k: rechazos %
- l: aprovechamiento real por pieza $i*e/g*d$
- m: peso total de piezas buenas individual
- n: aprovechamiento real de la colada
- o: valor de venta

Actividad 7. Seleccionar las metas de prevención y disminución de la contaminación

Establecer las metas de prevención y disminución de la contaminación es básicamente la redefinición de las establecidas durante la fase de planeación y organización. Por lo tanto aquí se aplican las mismas consideraciones y criterios.

- Donde se crea la mayor cantidad de emisiones y residuos
- Donde se propician las mayores pérdidas económicas
- Donde se tiene la mayor cantidad de opciones obvias de la prevención y disminución de la contaminación
- Son aceptables para todo el personal involucrado

FASE 3. EVALUACIÓN

Actividad 8. Elaborar balance de materiales

Un balance de materiales permite identificar y cuantificar pérdidas o emisiones previamente desconocidas. El diagrama de flujo de proceso, es la base para el cálculo del balance de materiales.

Este balance ofrece un programa global de las fuentes y causas de residuos y emisiones, necesaria para la generación de opciones de prevención y disminución de la contaminación. El balance de materiales no solamente se utiliza para identificar los suministros o entradas y la producción o salida, sino también los costos asociados a éstos.

Actividad 9. Evaluar las causas

El balance de materiales debe proporcionar las respuestas de donde, porqué y cuántos residuos y emisiones se generan y cuanta energía se pierde.

Con base en la comprensión de los suministros o entradas se puede determinar el destino de las materias primas, los materiales auxiliares y la energía y la producción o salida de los productos; los productos secundarios, los residuos o las emisiones. En el caso de los residuos y las emisiones se pueden intuir las causas para su generación. A partir de la figura 2.1 podemos identificar las causas de generación de residuos y emisiones.

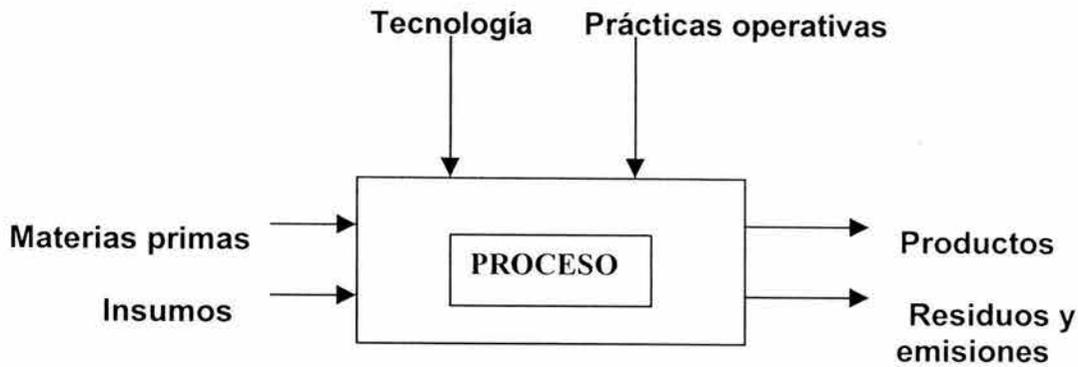


Figura 2.3 Características de vital importancia de toda actividad productiva.

Causas relacionadas con las materias primas

El uso de materias primas baratas, que no cumplen con las normas, carencia de especificaciones, escasez de materiales, sistema de administración de compras y almacenamiento inadecuados. Los insumos están considerados dentro de las materias primas.

Causas relacionadas con la tecnología

A. Operativa y de mantenimiento

Consumo aire/agua, energía eléctrica y calorífica, funcionamiento inadecuado del equipo, carencia de mantenimiento preventivo y correctivo.

B. Diseño de procesos/equipo

Capacidad no comparable del equipo, selección de materiales inferiores al óptimo, diseño susceptible al mantenimiento.

C. Disposición de las instalaciones

Expansión no planeada, planes de utilización de espacio y de traslado de materiales deficientes.

D. Tecnología

Empleo de la misma tecnología, a pesar de los cambios de materias primas o productos, costo elevado de mejor tecnología, dimensiones pequeñas de la planta y carencia de información.

Causas relacionadas con las prácticas operativas

A. Personal

- Falta de disponibilidad de mano de obra calificada
- Operaciones rituales
- Carencia de un sistema de capacitación formal
- Inseguridad laboral
- Miedo de perder secretos industriales

B. Desmotivación de los empleados

- Carencia de reconocimientos
- Inexistencia de un sistema de reconocimientos y castigos
- Hincapié en la producción únicamente
- Falta de compromiso por parte de la gerencia ejecutiva

Causas relacionadas con los productos

Proporción ineficiente entre los productos y los subproductos secundarios, demasiadas especificaciones de alta calidad, diseño poco práctico de los productos y productos compuestos de materiales de riesgo.

Causas relacionadas con los residuos

No hay segregación de residuos, poca atención al potencial de reciclaje de ciertos residuos, falta de recuperación de la energía de residuos y emisiones, manejo inadecuado.

Actividad 10. Generar opciones de prevención y disminución de la contaminación

Una vez que se conocen las fuentes y causas de la generación de residuos, emisiones y gastos energéticos, la evaluación de prevención y disminución de la contaminación, entra en la parte creativa. Con el diagrama de flujo de proceso y el balance de materiales a la mano, se puede elegir la operación específica, material o flujo de residuos, emisiones o energéticos que se desee revisar con mayor interés.

El equipo conductor del estudio deberá ahora buscar las posibles formas de incrementar la eficiencia y disminuir los residuos, las emisiones y las pérdidas de energía. Encontrar las opciones depende del conocimiento y creatividad de los miembros del equipo, lo que se relaciona directamente con la educación y existencia en el trabajo.

- Cambios en las materias primas
- Cambios en la tecnología
- Buenas prácticas de manufactura
- Cambios en los productos
- Reciclaje en la planta

Actividad 11. Seleccionar las opciones de prevención y disminución de la contaminación

Después de la "lluvia de ideas", se seleccionan y clasifican las ideas; las opciones atractivas con altos costos se sujetan a un estudio de factibilidad para determinar el alcance de los cambios sin olvidar las consideraciones de la legislación vigente y sus repercusiones. Las ideas poco claras se deben aclarar, las opciones similares o duplicadas se deben fusionar y todas las opciones se deben cuestionar para asegurarse de que sean realmente opciones de prevención y disminución de la contaminación. En esta etapa no debe abandonarse ninguna opción, a menos que, obviamente sean poco factibles.

FASE 4. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Actividad 12. Evaluación preliminar

La evaluación preliminar determinará, la factibilidad técnica, económica y ambiental de las opciones seleccionadas. Se recomienda que, antes de someter las opciones a algunas de las tres evaluaciones se clasifiquen como:

Opciones técnicas vs procedimientos

Algunas opciones solamente requieren cambios en los procedimientos y en el personal. Otros requieren un cambio técnico.

Opciones relativamente sencillas vs complejas

Las opciones sencillas pueden ser buenas prácticas operativas o ligeros cambios técnicos que se pueden implantar, sin o con, una pequeña inversión, mientras que las complejas pueden necesitar el reemplazo de una operación unitaria, requiriendo de una evaluación técnica y económica compleja.

Operaciones de bajo, medio o alto costo

Las opciones pueden seleccionarse juzgando los costos de su implantación

Actividad 13. Evaluación técnica

Se recomienda que se evalúe el impacto técnico, económico y ambiental de las medidas propuestas para el proceso, el producto, las tasas de producción, la seguridad etc., adicionalmente puede ser necesario contar con pruebas de laboratorio u operaciones de prueba de las opciones cuando éstas representen un cambio considerable en las prácticas actuales del proceso. Es importante incluir a los empleados y los departamentos afectados para la implantación de estas opciones. La evaluación técnica determinará si la opción requerirá de cambios de personal, operaciones adicionales y personal de mantenimiento, además de capacitación de los empleados.

Actividad 14. Evaluación económica

La factibilidad económica es frecuentemente un parámetro clave para determinar si una opción debe ser implantada o no. Es recomendable evaluar primero las opciones más atractivas económicamente. Esto refuerza el interés y el compromiso de la empresa en la prevención y disminución de la contaminación.

La evaluación económica se lleva a cabo utilizando medidas estándar de rentabilidad, como el periodo de recuperación de la inversión, valor actual neto (VAN) y la tasa interna de recuperación (TIR). Al realizar una evaluación económica se debe considerar diversos costos y ahorros. Al igual que con muchos estudios, los costos para las opciones de prevención y disminución de la contaminación se pueden desglosar en muchos costos operativos e inversiones (CMPL, 1998). Los tres métodos normales para medir la rentabilidad son :

- Periodo de recuperación
- Tasa interna de recuperación (TIR)
- Valor neto actual (VAN)

$$\text{Periodo de recuperación (años)} = \frac{\text{Inversión de capital}}{\text{Ahorros anuales}}$$

Es importante considerar en el análisis financiero los reglamentos ambientales impuestos o que serán probablemente impuestos en el futuro.

Actividad 15. Evaluación ambiental

Una de las metas de prevención y disminución de la contaminación es proponer el cumplimiento y gestión establecidas en leyes y normas, además de mejorar el

desempeño ambiental de las empresas, por lo tanto es esencial una evaluación ambiental. En muchos casos, la ventaja ambiental es obvia: una reducción neta de la toxicidad y/o la cantidad de residuos, las emisiones y la energía eléctrica. En caso de que cambie un proceso o producto, se deben calcular las ventajas ambientales a lo largo del ciclo de vida útil de dicho producto.

Con el fin de dar prioridad a ciertos efectos ambientales respecto a otros, se deben estudiar las políticas ambientales nacionales y las prioridades gubernamentales para la protección ambiental y el uso racional de la energía.

Actividad 16. Seleccionar las opciones factibles

En esta etapa se deberá documentar el trabajo realizado hasta la fecha, incluyendo el trabajo que no ha llevado a la identificación de una opción factible. De esta manera se puede seguir el rastro a todas las opciones de prevención y disminución de la contaminación que se han considerado. Si la prevención y disminución de la contaminación se vuelve a llevar a cabo, el nuevo equipo del estudio puede revisar estas opciones y aprender de las experiencias.

En cuanto al informe, no solamente debe indicar los costos y resultados esperados, sino también la manera en que se llevará a cabo el estudio. Antes de finalizar el informe es fundamental revisar los resultados con los departamentos relevantes y buscar su apoyo, o mejor aún, realizarlos juntos. Primero se debe seleccionar aquellas opciones que son ambientalmente factibles, las opciones restantes se pueden clasificar por orden de prioridades con base en la tasa de retorno, la opción con la mayor tasa de retorno y beneficios ambientales debe tener la mayor prioridad para la implantación.

Se puede utilizar un análisis comparativo de clasificación para dar prioridades a las opciones para su implantación. A cada opción se le asignará una calificación por cada criterio, por ejemplo del 1 al 10; al multiplicar el peso relativo de cada criterio por la calificación de la opción respectiva se obtendrá una calificación final para cada una de las opciones, y la que obtenga la calificación más alta será seleccionada para su implantación.

FASE 5. IMPLANTACIÓN

Actividad 17. Preparar un plan de prevención y disminución de la contaminación

El plan de implantación de prevención y disminución de la contaminación comienza con un análisis preliminar de la evaluación de prevención de la contaminación, de las opciones sin ningún costo y con bajo costo que ya se hayan implantado durante la evaluación previa, la evaluación y el estudio de factibilidad

se podrán analizar al realizar las comparaciones de antes y después. Por su parte, los recursos financieros se deben asignar para la implantación de grupos de opciones que han resultado del estudio de factibilidad. Los estudios relacionados con la reducción de residuos, emisiones y energía están involucrados generalmente con las mejoras en el rendimiento de la producción y/o con una reducción en el costo asociado con el desperdicio, las emisiones y la energía.

El discernimiento en lo que ocurre durante la implantación al igual que la supervisión y evaluación de las opciones puede ayudar para elaborar el plan de implantación. El programa debe explicar:

- Qué actividades específicas se deben desarrollar
- Quién es responsable de esas actividades
- Qué resultados específicos se esperan
- Cuándo y durante que tiempo se deben supervisar los cambios
- Cuándo se debe evaluar el progreso

Las actividades específicas para las que se deben hacer estas consideraciones son:

- Cuándo se deben asegurar los recursos financieros
- Cuándo debe tomar una decisión la gerencia
- Cuándo se debe implantar la primera opción
- Cuánto debe durar el periodo de prueba
- Cuál es la fecha de terminación de la implantación

Actividad 18. Implantar las opciones de prevención y disminución de la contaminación

La implantación de opciones de prevención y disminución de la contaminación involucra modificaciones o la obtención de equipo nuevo que fundamentalmente no difiere de cualquier otro estudio de investigación. Por lo que la empresa puede seguir los mismos procedimientos que utiliza para la implantación de estos estudios.

Al igual que cualquier otro estudio de inversión, las actividades para el estudio de prevención y disminución de la contaminación incluyen lo siguiente:

- Planeación
- Diseño
- Gestión
- Construcción
- Operación
- Mantenimiento

Se debe poner especial atención a las necesidades de capacitar al personal administrativo y a otros empleados. Si a los empleados no se les proporciona capacitación, el estudio puede tener limitaciones para funcionar adecuadamente. Durante la evaluación técnica se deben haber identificado las necesidades de evaluación.

También es importante que la gente responsable de la implantación del estudio este informada del trabajo y del propósito de esta opción, ya que la experiencia ha mostrado que generalmente el equipo tiene sugerencias útiles para ésta.

Actividad 19. Supervisar y evaluar el avance

Se debe supervisar el desempeño de las opciones establecidas de prevención y disminución de la contaminación, los resultados "reales" se deben evaluar como los resultados "esperados". Existen tres maneras de supervisar la efectividad de la implantación de una opción de prevención y disminución de la contaminación, se puede medir en los:

- Cambios en las emisiones y residuos
- Cambios en los consumos de recursos (incluyendo energía)
- Cambios en la productividad

Como medida de efectividad, la empresa se interesará de manera específica, en un incremento en la productividad. El estudio se puede poner en práctica al disminuir los costos del manejo de residuos y emisiones, y también al disminuir los costos operativos y de materia prima.

Los cambios en los residuos, emisiones y energéticos se deben corregir para poder iniciar un cambio en los resultados de la productividad. También, se debe considerar los cambios en la concentración de los residuos. Los costos operativos y los beneficios se pueden calcular con base en una comparación de "antes" y "después".

Las comparaciones de "antes" y "después", son fundamentales para evaluar las opciones implantadas, estas comparaciones permiten realizar cambios producidos por la opción implantada de prevención y disminución de la contaminación. La comparación de "antes" y "después" se puede utilizar para mostrar al departamento administrativo que tan efectivas (en lo que respecta a costos) son las opciones implantadas.

La evaluación de las opciones se puede llevar a cabo de manera periódica para verificar si todavía se cumplen los cambios y los objetivos de prevención y disminución de la contaminación. Al final de la evaluación se deben recopilar todos los materiales relevantes y archivar de manera adecuada para que se puedan

utilizar fácilmente. Cuando se inicie una nueva evaluación de prevención y disminución de la contaminación, las siguientes ideas se deben incluir en los archivos:

- Informe de prevención de la contaminación de la empresa
- Hojas de trabajo utilizadas o completadas durante la evaluación de prevención y disminución de la contaminación
- Evaluación de la causa de emisiones, residuos y energéticos
- Lista de opciones de prevención y disminución de la contaminación, generadas durante la sesión de lluvia de ideas
- Lista de opciones que son técnica, ambiental y económicamente factibles
- Plan de implantación
- Comparación de “antes” y “después” y evaluación de opciones
- Informe de evaluación
- Plan de acción a largo plazo para la prevención y disminución de la contaminación

Actividad 20. Mantener las actividades de prevención y disminución de la contaminación

Una empresa debe buscar continuamente maneras en las que pueda mejorar su desempeño ambiental.

Como objetivo final, se debe llevar a cabo otra evaluación de prevención de la contaminación. Si un programa de prevención y disminución de la contaminación se va a mantener en esta empresa y a probar su genuina eficacia, es muy importante que el equipo del estudio no pierda el impulso después que ha implantado algunas opciones de prevención y disminución de la contaminación. La prevención de la contaminación no debe ser asunto de una sola vez; la primera evaluación de este estudio debe proporcionar la clase de experiencia necesaria para que el equipo del estudio sea más eficiente al identificar, planear y realizar la evaluación de estudios de prevención y disminución de la contaminación.

Un programa de prevención y disminución de la contaminación es un conjunto integral de actividades de organización, planeación y administración, cuyo objetivo es mejorar el enfoque de prevención y disminución de la contaminación por medio

de la empresa y sus actividades. En la figura 2.3 se muestra las ventajas que se pueden tener de un estudio de prevención de la contaminación, ya que no solo se cumple con cuestiones ambientales, sino que también pueden surgir nuevas ideas y grandes proyectos en las empresas.

El primer componente de un programa de prevención de la contaminación es que la gerencia haya diseñado una política específica para tal fin. Otros componentes de un programa de prevención de la contaminación incluye lo siguiente:

- Asignación de un coordinador de prevención de la contaminación
- Desarrollo de un plan de acción
- Evaluación y ajuste del programa

En este estudio se intentó cumplir con todas las actividades propuestas en el programa, hasta donde los elementos técnicos y los materiales y herramientas presentes en la planta mexicana fundidora de aluminio estuvieron disponibles para la realización de dicho estudio⁸. No debe olvidarse que la fase 5 no se incluye en este trabajo pero se describe por si se desea dar seguimiento al estudio con el desarrollo de otra tesis que evalué las oportunidades implantadas.



Figura 2.3

⁸ Centro Mexicano Para la Producción más Limpia. OP.Cit p. 45

3. RESULTADOS

En este capítulo se describe el proceso de fabricación de las piezas de aluminio y se presentan diagramas para entender como esta constituida la empresa y su forma de operación. Así mismo se presentan los resultados obtenidos de los balances de materia y energía correspondientes, que para fines prácticos se presentan en el anexo 4 de este estudio. Y que permitieron encontrar oportunidades factibles de implantar en esta empresa para disminuir la contaminación y mejorar la eficiencia productiva de la planta.

3.1 EMPRESA MEXICANA FUNDIDORA DE ALUMINIO

Esta industria es productora de partes para diferentes ramas industriales, se funden principalmente tres tipos de aleaciones de aluminio, aluminio 380, aluminio 413 y ZAMAC, la composición de cada uno de estos materiales se especifica en el anexo 5, produciéndose 360 toneladas de aluminio y 12 toneladas de ZAMAC según datos proporcionados en su cédula de operación anual, lo que representa 1.17 toneladas diarias aproximadamente ya que la empresa labora 317 días al año.(Cédula de Operación Anual "COA", 2001)

Con el propósito de entender claramente el tamaño de la empresa mexicana fundidora de aluminio, en la figura 3.1 se presenta el diagrama de localización de los inmuebles dentro de la planta, donde puede observarse la falta de planeación en la ubicación de cada departamento, lo que trae como consecuencia una disminución en la eficiencia del proceso productivo.

En los anexos 5 y 6 de este estudio se presentan las hojas técnicas de materias primas y las hojas de seguridad de algunos materiales utilizados en el proceso de fundición. Lo anterior con el propósito de tener presente las características y efectos sobre la salud y el ambiente que tienen los materiales usados.

3.2 Relación maquinaria equipo del proceso de fundición (Manual de Procedimientos ISO 9000, 2001)

Se cuenta con 8 hornos de los cuales tres son reverberos y 5 son crisoles para llevar a cabo la fundición del material. La capacidad aproximada de cada horno es de 250 kg.

Cada horno se encuentra conectado a una máquina inyectora cuyas características son las siguientes:

1. Marca IMI con capacidad de 150 toneladas
2. Marca Toshiba con capacidad de 150 toneladas
3. Marca polak con capacidad de 160 toneladas

4. Marca polak con capacidad de 160 toneladas
5. Marca polak con capacidad de 200 toneladas
6. Marca Bhuler con capacidad de 300 toneladas
7. Marca Cost Master con capacidad de 500 toneladas
8. Marca Triulzi con capacidad de 600 toneladas

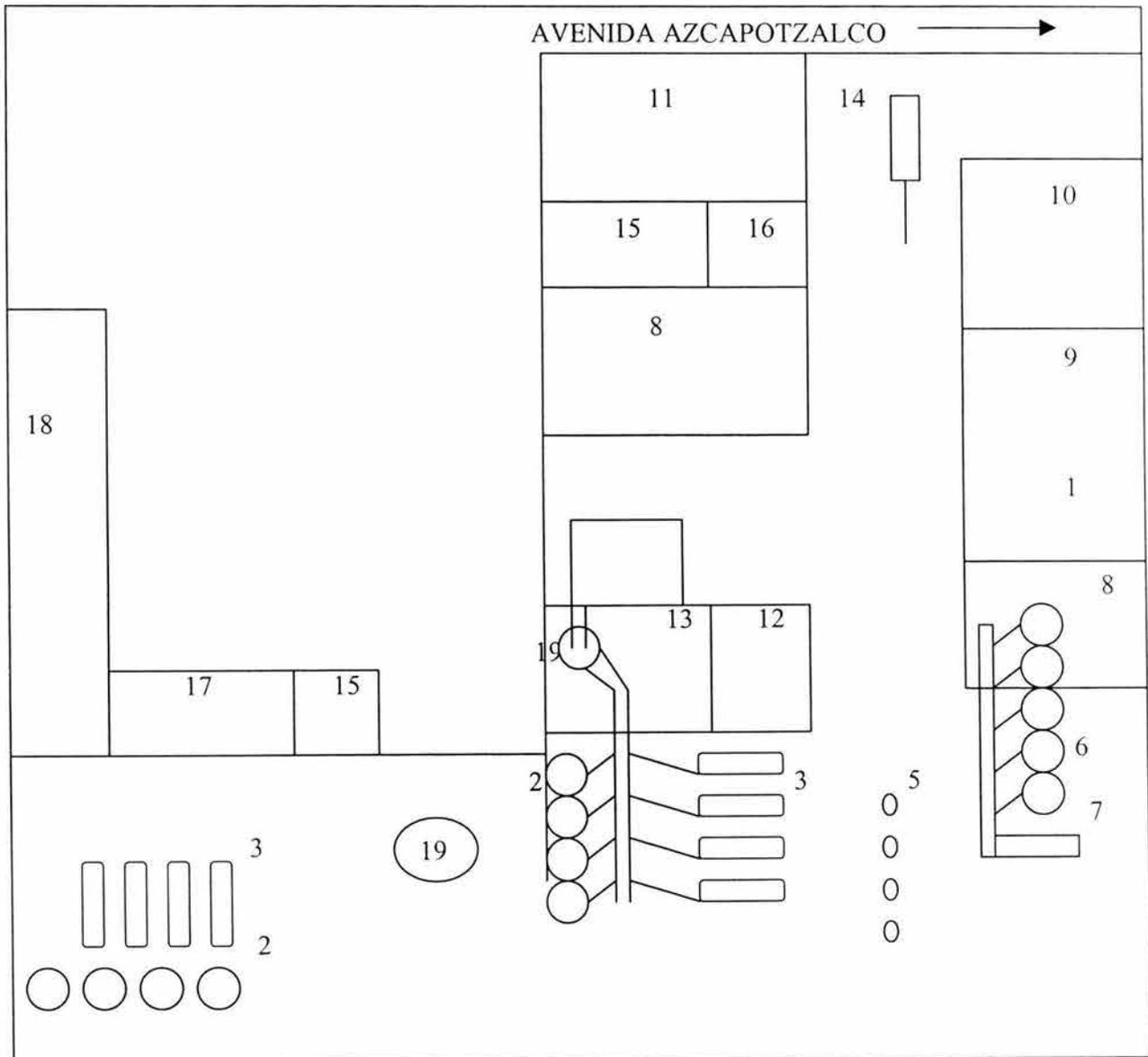


Figura 3.1 Fundidora de Aluminio

- 1 Materia prima
- 2 Fundición
- 3 Inyección a presión o Moldeo
- 4 Lavador de gases (extractor de emisiones)

- 5 limpieza y troquelado de la pieza
- 6 Lijado
- 7 Ciclón colector de polvo
- 8 Maquinado
- 9 Inspección y empaque
- 10 Almacén de producto terminado
- 11 Servicios y administración
- 12 Comedor
- 13 Baños
- 14 Descarga de agua residual
- 15 Control de calidad
- 16 Producción
- 17 Mantenimiento
- 18 Taller mecánico
- 19 Torre de enfriamiento

3.3 Descripción del proceso de fabricación

En la industria para la elaboración de piezas por el proceso de inyección a presión se sigue el tren establecido en el diagrama de flujo de proceso (DFP) que más adelante se presenta en la figura 3.2

Molde y su montaje

El molde consiste de dos placas de acero debidamente maquinadas de modo que en cada parte se encuentra una cavidad correspondiente a la mitad o una parte de la pieza, de tal forma que al cerrarse dichas placas, queda entre ellas una cavidad denominada matriz, la cual será llenada con el material fundido, aluminio o ZAMAC (aleación de zinc, aluminio, magnesio y cobre), formando así la pieza.

Se cuenta con moldes para piezas desde 100 g, hasta 1, 2 y 3 kg. En algunos casos el cliente proporciona el molde, en otros casos se tiene que fabricar en el propio taller mecánico de la empresa. El molde que se va a trabajar se monta atornillándolo en las platinas de la máquina inyectora, una parte del molde en cada platina, las cuales se abrirán y cerrarán durante el proceso de moldeo. Para esto se emplea una grúa viajera que sostiene el molde mientras se atornilla en la máquina.

1. Lingote de aluminio o ZAMAC

Las piezas a fabricar pueden ser de aluminio o ZAMAC, dependiendo de la solicitud del cliente, sin embargo más del 80% de las piezas que fabrica la empresa son de aluminio. La materia prima empleada es exclusivamente lingotes metálicos de aleaciones limpias de aluminio y ZAMAC.

2. Fundición

Se precalienta el horno con una hora de anticipación y posteriormente se colocan los lingotes del metal y se espera que se fundan a una temperatura de 580 a 590 °C.

El calentamiento de los hornos se lleva a cabo por la combustión de una mezcla de gas L.P. y aire con una relación aproximada de 1:28 como se puede observar en la memoria de cálculo en el anexo 1 de este trabajo.

Para llevar a cabo el calentamiento de los hornos se cuenta con una línea de alimentación de gas L.P. previamente precalentada para aumentar la eficiencia en la combustión, controlada por válvulas de paso y control de flujo y para el suministro de aire se cuenta con un ventilador de diferente potencia según el horno alimentado (con acondicionamiento eléctrico), un ducto apropiado y válvula de control de flujo o abanico que permiten realizar la mezcla.

Al llevarse a cabo la combustión se debe evitar la formación de humo oscuro, pues esto indica exceso de gas y por el contrario el exceso de aire provoca explosiones en la cámara del horno. La flama dentro del horno se controla abriendo la válvula de control de flujo o abanico, de menos a más, hasta lograr una flama de un tono que va de anaranjado a amarillo. Cuando el horno toma una coloración roja en sus paredes, se inicia el cargado de materia prima de colada (aluminio 380,413 o ZAMAC) hasta la mitad del contenido.

La materia prima empieza a fundir en un intervalo de 350 a 550°C, dependiendo del tipo de material, aluminio o ZAMAC.

Posteriormente se agrega más carga del material puro hasta completar 200 kg aproximadamente que es la capacidad promedio de los crisoles y de las cámaras de los hornos de reverbero. La mezcla de la materia prima pura y la colada se lleva a cabo hasta alcanzar una relación aproximada de 1:1.

El intervalo de temperatura de operación para la masa fundida en el caso de utilizar aluminio de los tipos 380 o 413 es del orden de 580 a 750 °C dependiendo del ajuste específico que se hace para cada máquina y también del tipo de pieza a producir.

La materia prima llega a sus condiciones normales de operación con el uso de otros materiales como son el fundente y el refinador.

Cuando el material fundido alcanza su temperatura de operación (en un intervalo de 460 a 750 °C, dependiendo del tipo de material, tipo de la pieza y de la geometría del molde, entre otros aspectos), se agrega el fundente cuya función es eliminar impurezas al originar la flotación de la escoria. Se agrega en una cantidad aproximada de 0.5 kg que depende de la relación de materia virgen con colada, del tipo de crisol y de horno.

Después de agregar el fundente se agita el material con un cucharón para promover la flotación de la escoria y poder retirarla de la superficie del material fundido, ya que representa una contaminación en el proceso de inyección, esta operación se lleva a cabo dos veces por turno en cada máquina.

Otro material que se adiciona al material fundido es el refinador, que contribuye a la disminución del defecto de porosidad cuando se presenta, pero el agregado de este material es selectivo, dependiendo del tipo de pieza a producir en el proceso de inyección, determinándose también la frecuencia de agregado de acuerdo a la verificación de desaparición de la porosidad y además depende también de los parámetros de ajuste de la máquina de inyección que controla el operador.

El gas es precalentado por el sistema mostrado en el diagrama de flujo de proceso por medio de un calentador CA-01 y un controlador de presión para suministrarlo a todos los hornos a las mismas condiciones.

3. Inyección a presión

Ya que el metal está fundido y el molde se ha colocado en la máquina inyectora se inician los ciclos de inyección.

Una vez que el molde es sujetado perfectamente antes de iniciar el proceso de inyección, es necesario calentarlo con un quemador que utiliza la mezcla de gas L.P.-aire. El tiempo de calentamiento del molde es variable y depende de su tamaño.

El intervalo de temperatura para el calentamiento del molde está en los niveles de 60 a 170 °C, dependiendo de la temperatura del material fundido, del tipo de pieza a inyectar, del tipo de molde, de la cavidad de la máquina, entre otros factores.

Cuando se alcanza la temperatura mínima de operación para el molde se da inicio a los ciclos de inyección.

Los parámetros de operación específicos, dependen de cada pieza, tipo de máquina y tipo de molde.

Los principales parámetros a controlar son:

- La presión de aceite de la máquina y de nitrógeno de proceso, se ajustan en un rango de 1 a 15 kg / cm², dependiendo del tipo de máquina y de la pieza a producir
- Primer ajuste de la velocidad del pistón, con ajuste de la tuerca de la flecha y también depende del tipo de máquina y de la pieza a producir

- Ajuste de micro de la segunda fase, para determinar la distancia de golpe del pistón (también es el control necesario para corregir defectos como porosidad y mal llenado) se hace con la escala graduada, en el intervalo de 250 a 300 mm
- Ajuste de la velocidad del pistón, con ajuste de $\frac{1}{4}$ de vuelta en la tuerca de la flecha, para obtener el ciclo de 1 a 2 segundos.
- Antes de cada ciclo de inyección se lubrican las cavidades del molde, utilizando la pistola que se encuentra en cada máquina, la cantidad de lubricante aplicado depende del molde, de acuerdo a la dificultad de diseño para que sea expulsada la pieza

Para la lubricación del molde se utiliza un sistema de aire comprimido para la dispersión del lubricante en el molde. El aire es suministrado por un proceso de compresión, la planta se divide en dos secciones, para la sección 1 se utilizan dos compresores CC-01 y CC-02 como se muestra en el diagrama de flujo de proceso, conectados en paralelo de 8 HP de potencia, el aire se utiliza para la lubricación del molde en el proceso de inyección. La segunda sección de la planta cuenta con un compresor CC-03 de 7.5 HP de potencia.

- Para la operación de lubricación se puede utilizar un material con características semejantes al producto llamado Ladex 44 que es un líquido color blanco que se diluye en una proporción de 4 litros de lubricante por cada 200 litros de agua
- También se lubrica el pistón, al lado del contenedor, antes de cada ciclo de inyección, con grasa negra (grasa tipo LP), aplicada con brocha

Una vez que se tiene el ajuste de las condiciones de operación en la máquina de inyección se incorpora el material fundido preparado en paralelo en el horno. La cantidad de material fundido que se alimenta en el contenedor depende del molde y del peso de la pieza a producir, se alimenta con un cucharón que puede ser de 3 a 6 in de diámetro y el operador determina la cantidad adecuada probando con un ciclo de inyección.

El ciclo completo de producción inicia con el cerrado de la máquina, con el acondicionamiento de la botonera de control, después de la lubricación del molde a continuación se hace el engrasado del pistón, se alimenta el contenedor con el material fundido, se acciona el botón de inyección, se inyecta el material en el molde y al terminar, la máquina abre manual o automáticamente y el operador retira la pieza con pinzas de mecánico.

Al terminar normalmente la producción de un lote de producto, el molde se desmonta de la máquina de inyección con la última pieza.

La inyectora necesita un sistema de enfriamiento para el cual se cuenta con dos torres de enfriamiento de agua, en la sección dos se tiene una torre de tiro forzado marca comercial TA-02, el motor del ventilador tiene una potencia de 3.5 HP y da servicio a dos inyectoras 5 y 8. Por medio de las bombas BA-01 y BA-02 de 1 HP. De la cisterna o depósito se bombea agua a un depósito elevado TA-01; por medio de la bomba BA-03, para que por gravedad se le de servicio a las inyectoras 5 y 6 de la segunda sección y regresar agua caliente a la torre para concluir los ciclos de enfriamiento. Para la sección 1 se encuentra con una torre de enfriamiento atmosférica que le da servicio básicamente a las cuatro inyectoras, por medio de la bomba BA-04 de 1HP. Una parte se dirige a las inyectoras 1 y 2 y la otra se desvía a un depósito elevado para distribuirla a las otras dos inyectoras para el servicio de enfriamiento. Para ver el funcionamiento de la máquina inyectora ver anexo 1.

4. Lavador de gases

Las emisiones generadas en el proceso se deberían capturar mediante campanas conectadas a un ducto de extracción y a su vez conectado a un lavador de gases y a un extractor. Sin embargo, casi nunca se encuentra en operación debido a su alto consumo de energía eléctrica y a su sobrediseño que afecta el factor de potencia de la planta.

5. Limpieza y troquelado de la pieza

Una vez inyectado el metal se esperan unos 6 a 8 segundos para la solidificación del metal, se abre la máquina con el molde y se expulsa la pieza de las cavidades y se retira la pieza con una pinza, se realiza la primera inspección, las piezas aceptadas las colocan en una canastilla, el rechazo 5% máximo, se regresa al horno de fundición y la máquina queda limpia para un nuevo ciclo, la pieza se inspecciona por segunda vez, si se acepta se limpian rebabas, esto se hace con pinzas o con troqueladora.

6. Pulido

Las piezas se limpian para eliminar sobrantes y rebabas con esmeriles y lijadoras de banda.

7. Ciclón colector de polvos

Los polvos generados durante el pulido de las piezas se capturan mediante tolvas conectadas a un ducto y un extractor y se colocan en un ciclón (sedimentador gravitacional). Sin embargo, en este caso, no se encuentra conectado debido a problemas por consumo de energía eléctrica y sobrediseño del equipo.

8. Maquinado

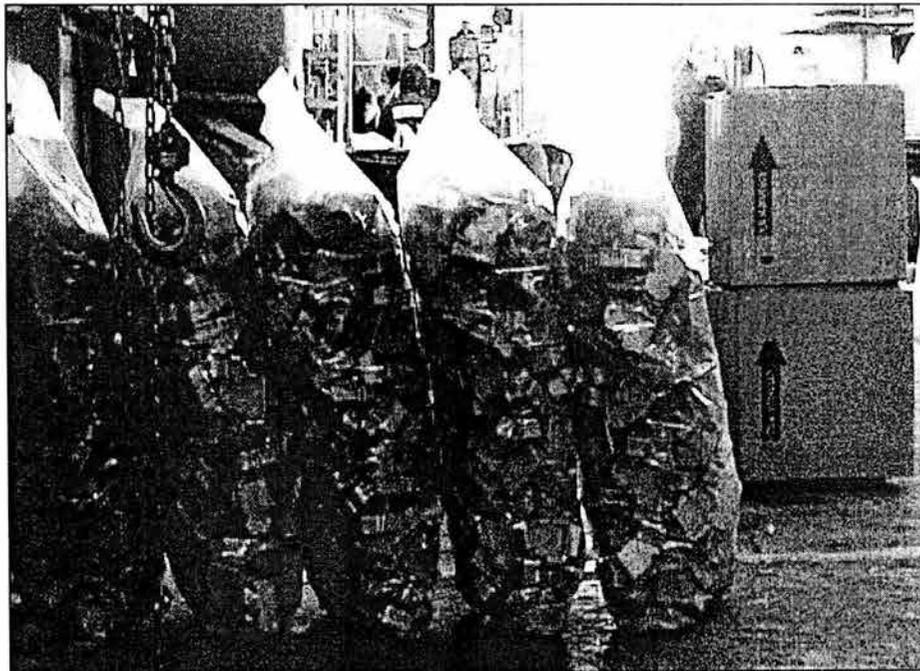
Si el cliente lo requiere la pieza se somete a un proceso de maquinado, que consiste en: troquelado, barrenado, roscado, torneado, fresado o de lo contrario se envían directamente a empaque.

9. Inspección y empaque

Las piezas empacadas se revisan por última vez y se empacan en bolsas de plástico, en cajas de cartón o bien se flejan.

10. Almacenaje de producto terminado

Las piezas empacadas se almacenan quedando listas para su entrega al cliente.⁹



Producto terminado listo para entrega a clientes

⁹ Observación del proceso productivo de la Empresa Fundidora de Aluminio a Presión

En la fase 2 de la metodología se construye el diagrama de flujo de proceso (DFP), por lo que a continuación se presenta este diagrama en la figura 3.2 donde las literales tienen el siguiente significado:

CC-01	Compresor 1
CC-02	Compresor 2
CC-03	Compresor 3
TAG-01	Tanque de gas L.P. 1
TAG-02	Tanque de gas L.P. 2
CA-01	Calentador 1
HR-01	Horno de reverbero 1
HR-02	Horno de reverbero 2
HR-03	Horno de reverbero 3
HC-01	Horno de crisol 1
HC-02	Horno de crisol 2
HC-03	Horno de crisol 3
HC-04	Horno de crisol 4
HC-05	Horno de crisol 5
IN-01	Inyectora 1
IN-02	Inyectora 2
IN-03	Inyectora 3
IN-04	Inyectora 4
IN-05	Inyectora 5
IN-06	Inyectora 6
IN-07	Inyectora 7
IN-08	Inyectora 8
TQ-01	Tanque de almacenamiento 1
TQ-02	Tanque de almacenamiento 2
TA-01	Torre de enfriamiento 1
TA-02	Torre de enfriamiento 2
DT-01	Cisterna 1
DT-02	Cisterna 2
BA-01	Bomba centrífuga 1
BA-02	Bomba centrífuga 2
BA-03	Bomba centrífuga 3
BA-04	Bomba centrífuga 4

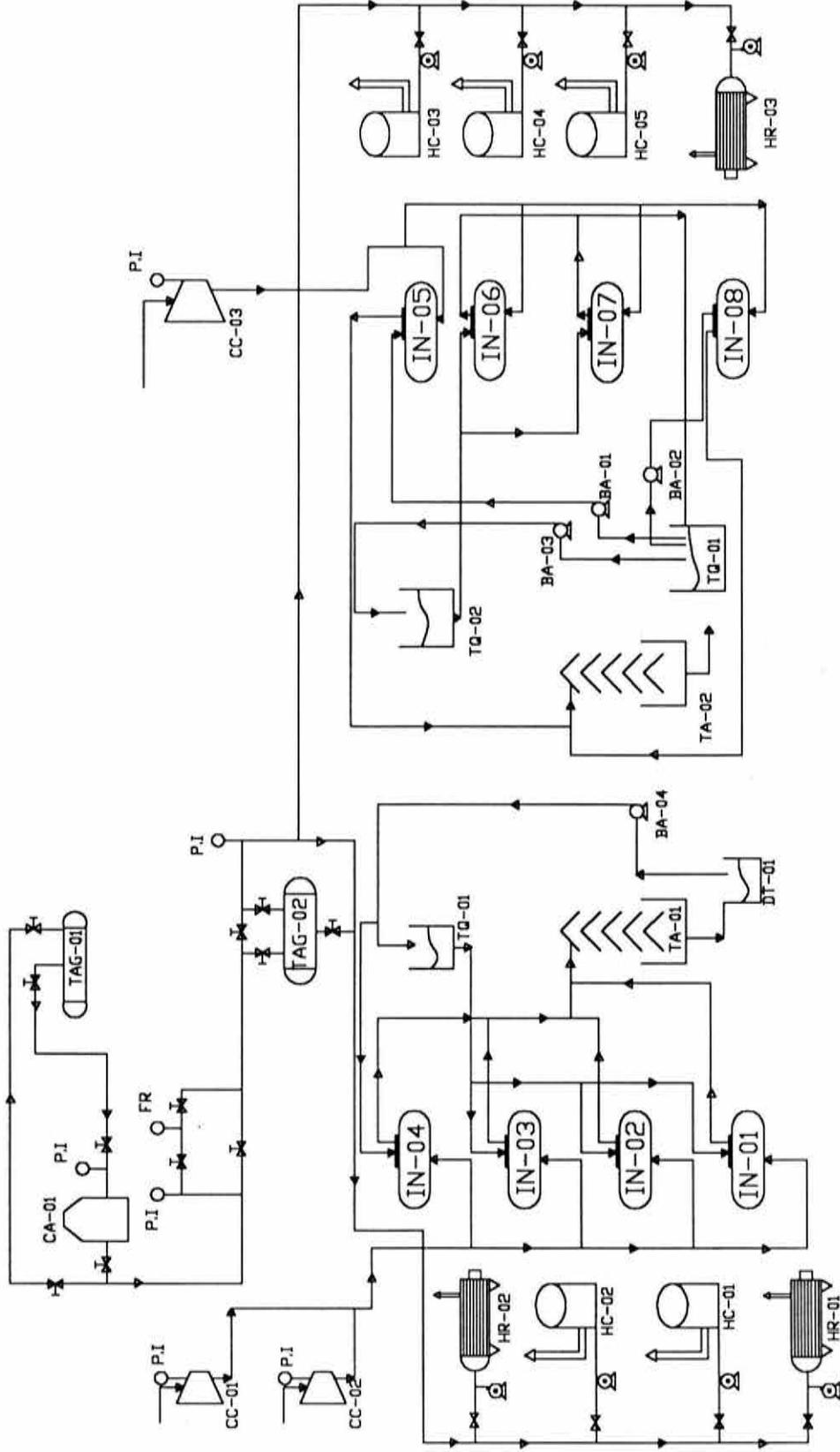


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

3.4 Residuos, descargas y emisiones en la atmósfera

En el proceso productivo la empresa genera como se muestra en la figura 3.3 a y 3.3 b residuos en varias etapas del proceso.

- Escoria de Aluminio
- Humos
- Aceite gastado
- Guantes y estopas sucios
- Lodos del lavador de gases

Las escorias se forman al término de cada fusión en cada uno de los hornos utilizados, de esta se generan 4 toneladas anuales, según información obtenida en la cédula de operación anual de la planta. La escoria es entregada a Química Wimer S.A. de C.V. para su disposición final.

Los humos se generan en los procesos de combustión de la planta, los cuales se cuantifican en el ducto de descarga de la planta que equivale a $21.2 \text{ m}^3 / \text{s}$ (COA, 2001), según datos obtenidos de la cédula de operación anual de la planta. Sin embargo, en esta cédula no se incluye información sobre la contaminación originada en la segunda sección de la planta, que no tiene salida por la chimenea ni esta conectada al lavador de gases.

El aceite gastado equivale a 400 litros obtenidos anualmente generados en las máquinas inyectoras y en los compresores de la planta, según información obtenida de su cédula de operación anual, el cual se da para disposición final y reciclado de la empresa Cementos Pórtland Moctezuma.

Los guantes y estopas sucios que se generan equivalen a 150 kg anuales según información obtenida en la cédula de operación anual, la cual es tratada por Química Wimer S.A. de C.V. para su disposición final.

Los lodos del lavador de gases equivalen a 20 kg anuales según datos de la cédula de operación anual, sin embargo hay que considerar el poco tiempo que funciona el lavador de gases.

En el caso de la escoria de aluminio y los guantes y trapos contaminados la empresa encargada del transporte de estos residuos es TRANSESP S.A. de C.V.

A continuación se resumen estos datos en la tabla 3.1

Contaminante	Cantidad
Escoria	4 toneladas/año
Humos	21.2 m ³ /s
Aceite Gastado	400 L/año
Guantes y estopas	150 kg/año
Lodos	20 kg/año

Tabla 3.1

Características CRETIB de los residuos generados por la empresa

Los residuos peligrosos para almacenamiento y transporte tiene un número de identificación según NOM-052 ECOL-1993.

Aceite gastado, tóxico = T
 Escoria de aluminio, reactivo = R
 Guantes sucios, tóxico = T
 Lodos del lavador de gases ,reactivo = R

Aceite gastado, RPNE 1.1/03
 Escoria de aluminio, RP 2.3/03

Para los otros residuos no hay número de identificación.

En el proceso de la empresa no es requerido el uso del agua, sin embargo, hay una descarga de aguas residuales, provenientes de servicios sanitarios y regaderas, en el anexo 7 se presenta un análisis de las aguas residuales mencionadas¹⁰. Según informe reportado, indica que no se encontró parámetro alguno de los analizados fuera de los límites máximos permitidos por la NOM-002 ECOL-1996.

Por otra parte, a la empresa se le hacen análisis de emisión de partículas de los hornos de crisol y reverbero de la planta¹¹, de acuerdo con la NOM-043 ECOL-1993 y la NOM-085 ECOL-1994. Es por ello que en el anexo 6, se presenta un análisis de emisión de partículas obteniéndose valores dentro del parámetro de la norma.

¹⁰ Análisis realizado por Estudios y Análisis Ambientales, S.A de C.V. el día 12 de febrero de 2003

¹¹ Análisis realizado por la empresa KAMPE, S.A. de C.V. el día 20 de enero de 2003

Figura 3.3 a Diagrama de bloques de residuos y emisiones del proceso productivo

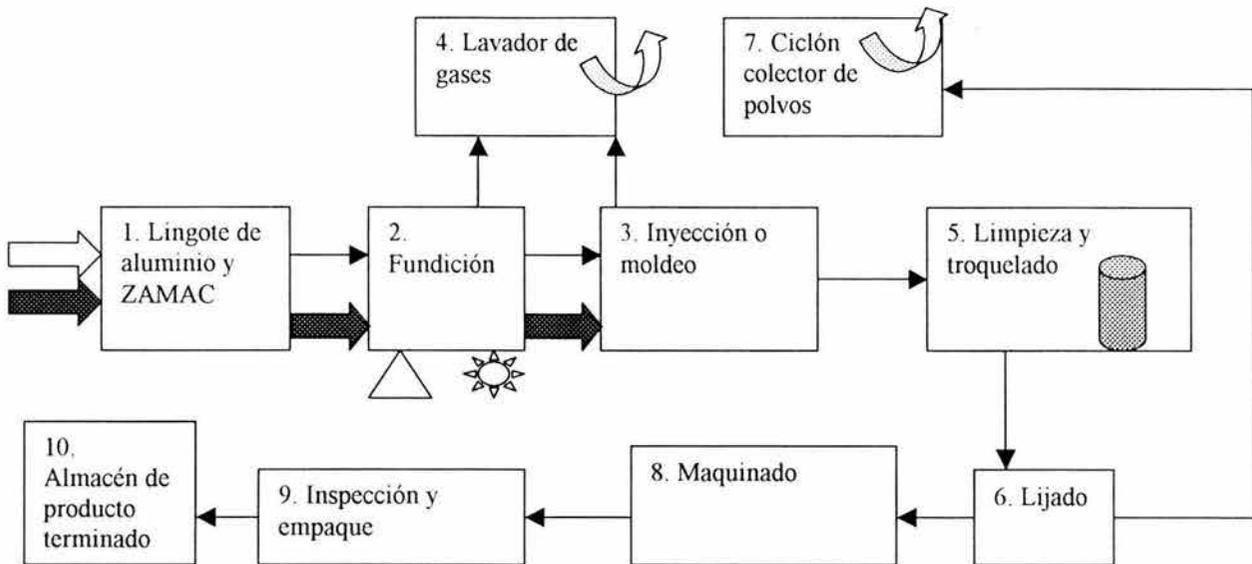
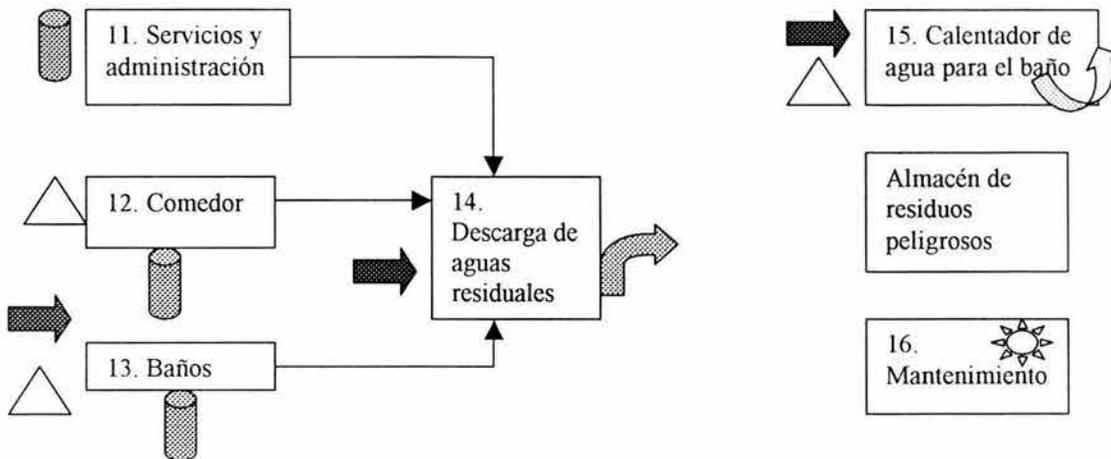


Figura 3.3 b Diagrama de bloques de servicios auxiliares y administración (residuos)



Entradas		Salidas	
Insumo directo		Emisiones al aire	
Insumo indirecto		Descarga de aguas residuales	
Agua		Generación de residuos sólidos	
Energía		Generación de residuos peligrosos	

3.5 Normatividad y legislación ambiental

La regulación aplicable a este giro industrial se presenta en la siguiente lista. En ella se hace mención principalmente a la norma oficial mexicana, NOM-052-ECOL-1993, la cual establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Las leyes, reglamentos y normas más importantes son mencionados a continuación.

- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988/1996)
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (1988)

Algunas de las regulaciones no competen directamente a la industria fundidora, por lo que a continuación se hace mención brevemente de los requisitos más importantes a considerar.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente establece las disposiciones de manera genérica al generador de residuos.

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (artículo 8) contiene las disposiciones específicas que regula los requisitos a los que las empresas de fundición deben someterse. Sin embargo, los requisitos específicos se presentan a nivel de Normas Oficiales Mexicanas.

El reglamento establece la obligación del generador de residuos peligrosos para darles una disposición final adecuada, así como su clasificación correcta. A nivel nacional la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), es la autoridad competente en materia de residuos peligrosos, especialmente para las autorizaciones correspondientes para el manejo de residuos peligrosos, incluyendo los trámites administrativos y legales necesarios.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM's)

- NOM-052-ECOL/1993: Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente
- NOM-053-ECOL/1993: Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente

- NOM-054-ECOL/1993: Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más de los residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL/1993
- NOM-002-ECOL-1996: Que establece los límites máximos permisibles para descarga de aguas residuales a alcantarillados
- NOM-002-SCT2-1994: Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados
- NOM-003-SCT2-1994: Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos
- NOM-004-SCT2-1994: Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos
- NOM-005-SCT2-1994: Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materias y residuos peligrosos
- NOM-006-SCT2-1994: Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al auto transporte de materiales y residuos peligrosos
- NOM-007-SCT2-1994: Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos
- NOM-009-SCT2-1994: Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos
- NOM-043-ECOL-1993: Que establece los niveles máximos permisibles por emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas
- NOM-085-ECOL-1994: Que establece los niveles máximos permisibles por emisión de contaminantes generados en los procesos de combustión de calentamiento indirecto

3.6 Balances de materia y energía

Con el propósito de identificar oportunidades de prevención y disminución de la contaminación como lo establece el programa de actividades citado en el capítulo 1 del presente trabajo, se procederá a realizar el diagnóstico por medio de los balances de materia y energía en un horno de crisol y reverbero, dando seguimiento a un lote de producción en cada uno de ellos.

3.6.1 Balance de materia en el horno de crisol

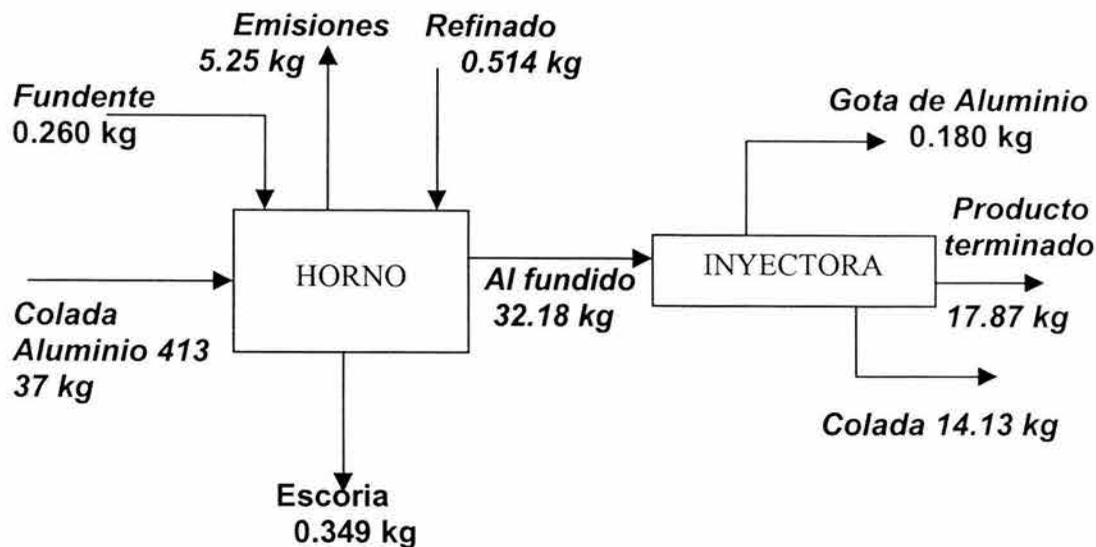


Figura 3.4 Balance de materiales en el horno de crisol

Las emisiones se calcularon con un balance de materiales tradicional, ver anexo 4 de memoria de cálculo.

Con base en el estudio realizado presentado por la empresa KAMPE S.A. de C.V. se determinó que los gases de combustión no contienen monóxido de carbono, esto resulta raro ya que los balances de energía muestran que la combustión no es completa.¹²

Ahora para el gas L.P. se obtuvo un consumo de 6.56 litros en 35 minutos que duro el lote con base en índices de consumo de combustible monitoreados en la empresa, como se muestra en la tabla 3.2, el cálculo detallado de el índice de consumo se presenta en el anexo 2.

¹² Supra. P. 49

Capacidad total del tanque de almacenamiento de gas L.P = 5000 L

Tabla 3.2

Día:	Tiempo (h)	Consumo (L)	Hornos utilizados		Flujo Volumétrico (L/h)	Consumo por horno Q = (L/h)
			Reverbero	Crisol		
Julio de 2003						
15	3.33	150	2	2	45.04	11.26
16	3.25	250	2	3	76.92	15.38
17	3.33	175	2	2	52.55	13.13
18	2.50	200	2	1	80.00	26.66
19	1.50	50	2	0	33.33	16.66
20	3.33	125	2	2	37.53	9.38
21	3.33	150	2	2	45.04	11.26
22	3.00	100	2	2	33.33	8.33
23	3.00	100	2	2	33.33	8.33
24	3.00	100	2	2	33.33	8.33
25	3.00	125	2	2	41.66	10.42
26	3.33	200	2	3	57.14	11.42

El índice de consumo resultó ser de 11.26 L/h

La composición considerada del gas L.P. es 40 % propano y 60 % butano¹³.

De aquí que el consumo de gas propano fue de 2.624 litros y de 3.936 litros de butano. Esto se obtuvo de la forma siguiente (anexo 4):

Propano: 6.56 L (0.4) = 2.624 L

Butano: 6.56 L (0.6) = 3.936 L

Con los datos anteriores se obtiene que la cantidad de gases de combustión generados por el combustible (gas L.P) en el lote a una temperatura de 1200 °C son:

$\text{CO}_2 = 0.8338 \text{ ft}^3 = 23.61 \text{ L}$

$(\text{H}_2\text{O})_v = 1.065 \text{ ft}^3 = 30.15 \text{ L}$

$\text{N}_2 = 5.143 \text{ ft}^3 = 145.63 \text{ L}$

El total de gases de combustión es de $7.041 \text{ ft}^3 = 199.38 \text{ L}$.

Como se mencionó, el total de los gases de combustión en el lote seguido fue de 199.38 L, con la ayuda de la ley de los gases ideales, y conociendo que el peso

¹³ Perry, Robert H. "Manual del Ingeniero Químico". 1995, Mc. Graw Hill. 6ª edición. Tomo I

molecular de la mezcla de los gases es de 28.38 g/mol, se obtuvo la masa de los gases la cual resultó ser de 0.1694 kg.

Por lo cual 5.08 kg (ver anexo 4) son parte contaminantes a la atmósfera y elementos de la aleación que precipitan en el proceso de fusión.

Es importante mencionar que según información de la cédula de operación anual de la planta se pierde el 10% de material atribuidas a malas prácticas de manufactura y en este caso obtuvimos pérdidas alrededor del 13% .

3.6.2 Balance de energía en el horno de crisol

En función a los consumos de gas L.P obtenidos de los datos monitoriados en la planta fundidora de aluminio se obtuvo el consumo de gas L.P para nuestro lote de producción.

El dato de consumo de gas se calculo por medio de un promedio aritmético de los consumos de gas en la planta (ver memoria de cálculo de consumo de gas L.P, anexo 2).

Índice de consumo = 11.26 L/h

Tiempo del lote = 35 minutos = 0.5833 h. Por lo tanto $11.26 \text{ L/h} * 0.5833 \text{ h} = 6.56 \text{ L}$

Para éste cálculo se consideró una aleación binaria Al-Si; por cuestiones prácticas, para el uso de un diagrama de fases Al-Si para una composición del 13% de Si, en el diagrama de fases se encontró una temperatura de fusión de la aleación de 594 °C.¹⁴

Para calcular la energía o calor necesario para llevar el material hasta la temperatura de operación, se requirió calcular el calor necesario para llevar la masa de aleación hasta la temperatura de fusión, posteriormente para el cambio de fase de sólido a líquido y por último para llevarlo hasta la temperatura de operación. El resultado encontrado fueron 9,461.5 Kcal.

Para el gas L.P se consideró una composición 60% butano y 40% propano con lo cual se obtuvo un poder calorífico de 6534.62 kcal (anexo 4), y un consumo de 6.56 L, por lo que el calor proporcionado por el gas L.P fue de 42,867.10 kcal, y se obtuvo de los balances una pérdida de calor total de 19,010.33 lo cual significa que se dejan de aprovechar 23,856.77 kcal. O dicho de otra manera, el consumo de gas L.P es 2.25 veces más que el requerido. De lo anterior se deduce que la cantidad de gas L.P gastado en exceso es 3.64 L en cada lote.

A continuación se presenta la metodología para calcular las pérdidas de calor por el diseño del horno, ver memoria de cálculo, anexo 4.

¹⁴ Frakking P. L. El aluminio y sus aleaciones, Editorial Limusa, México 1992. p. 108

Secuencia de cálculo para evaluar pérdidas de calor en el horno de crisol

1. Cálculo de las pérdidas de calor en las paredes laterales del horno

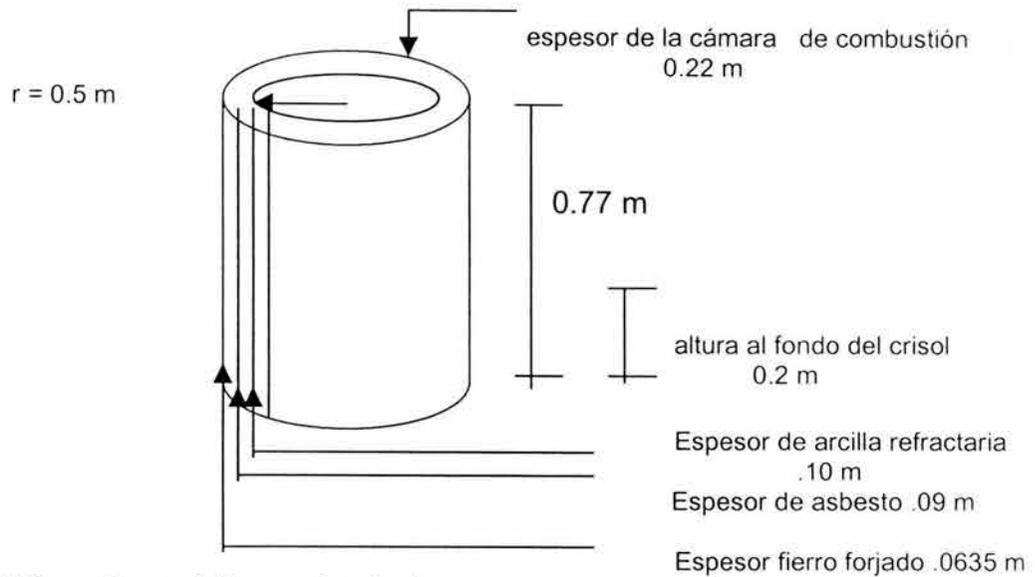


Figura 3.5 Dimensiones del horno de crisol

El cálculo se efectúa considerando paredes cilíndricas compuestas por medio de la siguiente ecuación (Bird, R., 1993)

$$Q_o = \frac{2 \pi L \cdot (T_a - T_4)}{\frac{1}{r_o \cdot hm} + \frac{\ln(r_1/r_o)}{k_{01}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{23}}} \quad 3.1$$

donde

Q_o : cantidad de calor que se pierde por unidad de tiempo (kcal / h)

r_o, r_1, r_2, r_3 : radios del centro del crisol a las paredes (cm)

T_a : temperaturas de los gases de combustión ($^{\circ}\text{K}$)

T_4 : temperatura exterior de la pared del horno ($^{\circ}\text{K}$)

hm : coeficiente de transferencia de calor por convección en la zona de los gases de combustión ($\text{cal/ cm}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{K}$)

k_{01} : conductividad térmica del asbesto ($\text{cal/cm s } ^{\circ}\text{K}$)

k_{12} : conductividad térmica de la arcilla

k_{23} : conductividad térmica del hierro forjado

1.1 Cálculo de hm

Para cilindros verticales, convección forzada, se utiliza ecuación empírica.¹⁵

$$jH = \frac{hm}{\rho C_p v} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{2/3} \quad 3.2$$

En donde

jH : factor adimensional

C_p : capacidad calorífica a presión constante de la mezcla gaseosa (BTU/lb °F)

μ : viscosidad cinemática de la mezcla gaseosa (lb/ft s)

ρ : densidad de la mezcla gaseosa (lb/ft³)

v : velocidad de la mezcla gaseosa en la cámara de combustión (ft/s)

k : conductividad térmica de la mezcla gaseosa (BTU/s ft °F)

Para calcular jH se requiere encontrar el número de Reynolds (Re) y hacer uso de un nomograma de transferencia de calor y cantidad de movimiento entre un cilindro largo y una corriente transversal haciendo una analogía de lo que ocurre en el horno:

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad 3.3$$

en donde

D : diámetro del crisol (m)

Para calcular la velocidad de los gases de combustión en la cámara, partimos de la demostración matemática de la relación aire-combustible, en donde tenemos una relación de 1:28, por lo cual el flujo de aire es determinante, calculando esta velocidad a partir de la ecuación de continuidad que dice:

¹⁵ Bird R. B. Fenómenos de transporte, 1993, Ed. Reverte, México, p. 13-21

$$Q = vA \quad 3.4$$

en donde

Q: flujo volumétrico (m³/s)

A: área perpendicular al flujo (m²)

Una vez conocido el número de Reynolds y jH se calcula el coeficiente de transferencia de calor por convección según la gráfica que relaciona estas variables.¹⁶

1.2 Cálculo de las propiedades termodinámicas y de transporte de los gases de combustión

Viscosidad .¹⁷

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_i}{\sum_{j=1}^n x_j \cdot \phi_{ij}} \quad 3.5$$

Para calcular ϕ_{ij} ¹⁸:

$$\phi_{ij} = \left(\frac{1}{\sqrt{8}} \right) \left[1 + \frac{M_i}{M_j} \right]^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2 \quad 3.6$$

en donde

M_i, M_j: masas moleculares individuales de los compuestos correspondientes (g/gmol)

ϕ_{ij} : coeficientes de fugacidad, adimensional

$\phi_{ij} = 1$ cuando $i = j$

μ_i , μ_j : viscosidades de los compuestos individuales (g/cm s)

¹⁶ Ibidem p13-22

¹⁷ Ibidem p. 1-25

¹⁸ Loc. Cit

μ : viscosidad de la mezcla gaseosa (g/cm s)

x_i, x_j : fracción molar de los componentes individuales

Conductividad térmica ¹⁹

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot k_i}{\sum_{j=1}^n x_j \cdot \phi_{ij}} \quad 3.7$$

en donde

k_i : conductividad térmica de los componentes individuales de la mezcla gaseosa (cal/cm s °K)

Los coeficientes de fugacidad se determinan haciendo uso de la ecuación 3.6, para posteriormente encontrar el valor de conductividad térmica.

Capacidad calorífica a presión constante de la mezcla gaseosa

$$C_p = \sum_{i=1}^n x_i \cdot C_{pi} \quad 3.8$$

en donde

C_p : capacidad calorífica de la mezcla gaseosa (BTU/lb °F)

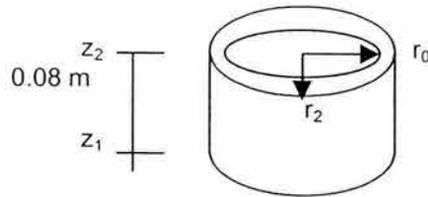
C_{pi} : capacidad calorífica del elemento puro (propano, butano, oxígeno)

Densidad Promedio

$$\frac{1}{\rho} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_i} \quad 3.9$$

¹⁹ Ibidem p. 8-19

2. Cálculo de las pérdidas de calor en el refractario superior del horno de crisol



$r_0 = 0.62 \text{ m}$
 $r_2 = 0.7715 \text{ m}$
 espesor = 0.22 m

Figura 3.6 Refractario superior del horno de crisol

Para calcular las pérdidas de calor en esta parte del horno la literatura recomienda el uso de la siguiente ecuación²⁰:

$$Q_z = \frac{(T_a - T_s) \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_0^2)}{\frac{1}{hm} + \frac{(z_2 - z_1)}{k}} \quad 3.10$$

en donde

T_s : temperatura en la pared exterior del ladrillo refractario (°K)

T_a : temperatura interior de los gases de combustión (°K)

r_2, r_0 : radio interno y externo del ladrillo refractario según se muestra en la figura 3.6 (cm)

z_2, z_1 : altura del ladrillo refractario (cm)

hm : coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{cal/cm}^2 \text{ s } ^\circ\text{K}$)

k : conductividad térmica del ladrillo refractario ($\text{cal/cm s } ^\circ\text{K}$)

²⁰ Ibidem, p. 10-9

3. Cálculo de las pérdidas de calor por radiación (superficie del crisol, orificios del crisol y por la chimenea)

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann.²¹

$$Q = \sigma \cdot \lambda \cdot A \cdot T^4 \quad 3.11$$

en donde

Q: cantidad de calor perdido por radiación por unidad de tiempo

σ : constante de Boltzmann, $4.878 \cdot 10^{-8}$ kcal/hm²°K

A: área perpendicular al flujo de calor (m²)

T⁴: temperatura absoluta en °K

$\lambda = e$: emisividad total, adimensional

para una superficie negra $\lambda = 1$

4. Cálculo del calor no aprovechado en el proceso de combustión

Para calcular el calor no aprovechado es necesario sumar toda la energía perdida por las condiciones de diseño del horno, por los orificios en el horno y la energía necesaria para fundir el material adicionado al mismo. Posteriormente se restan de la energía producida por el combustible, para finalmente calcular la eficiencia del proceso de combustión.

Consideraciones importantes para realizar el cálculo teórico de la temperatura de la flama

“Una flama tiene tres regiones importantes: zona de combustión primaria, región interconal y el cono exterior. El aspecto y el tamaño relativo de esas regiones varían considerablemente con la relación combustible/oxidante. Flama rica en oxidante y combustible, región interconal, es una zona rica en átomos libres y es la parte de la flama más utilizada por la alta temperatura. El cono exterior es una zona de reacción secundaria donde los productos formados en la región interior se convierten en óxidos moleculares estables”²². Por esta razón se utilizan las

²¹ Ibidem, p. 14-8

²² James J. Análisis Instrumental. 1998, Mc. Graw Hill. Cuarta Edición. México. P. 239

propiedades del gas L.P, para calcular la temperatura de los gases de combustión en el interior de la cámara de combustión haciendo uso de la tabla 3.1.

Tabla 3.3 Condiciones de la temperatura de la flama²³

Combustible	Oxidante	Temperatura °C	Velocidad de combustión cm/s
Gas L.P	aire	1200-1300	39-43

Las consideraciones de la temperatura de la flama se toman de la tabla 3.1

Propiedades termodinámicas y de transporte necesarias para los cálculos

$C_p\text{-Al}$ en estado sólido = 0.25 cal/g °C²⁴

$C_p\text{-Al}$ en estado líquido = 0.3119 kcal/kg°C²⁵

λ : calor latente de fusión del aluminio, kcal/kg²⁶

Tabla 3.4 Viscosidades de los componentes de la mezcla gaseosa²⁷

Viscosidad μ	cp(centipoises)	g/(cm s)
Propano	0.027	$2.7 \cdot 10^{-4}$
Butano	0.04	$4 \cdot 10^{-4}$
Oxígeno	0.055	$5.5 \cdot 10^{-4}$

²³ Loc. Cit.

²⁴ Frakking. P. L. Op. Cit. p. 21

²⁵ Smith. J. M. y Van Ness, H. C. Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química. 1987, Mc Graw Hill, cuarta edición. México D.F. p. 116

²⁶ Perry. Op. Cit Tabla 3-177

²⁷ Kern, D. Q. Procesos de transferencia de calor, 1998, CECSA, México. Fig. 15

Tabla 3.5 Propiedades termodinámicas de los gases de combustión²⁸

Sustancia	Conductividad Térmica k		Cp	Densidad ρ
	(BTU/h ft °F)	(cal/s cm °K) * 10 ⁵	(BTU/lb °F)	(kg/m ³)
Propano	0.0087	3.5987	0.88	1.52
Butano	0.0078	3.2264	0.86	2.00
Oxígeno	0.0185	7.6525	0.32	1.33

Tabla 3.6 Conductividades térmicas de materiales de construcción del horno de crisol²⁹

Conductividad térmica k	BTU/ h ft °F	cal/scm °K
Asbesto	0.087	3.6*10 ⁻⁴
Arcilla	0.58	2.4*10 ⁻³
Hierro forjado	25	0.1034
Ladrillo refractario	0.4	1.65*10 ⁻³

Tabla 3.7 Densidades de la mezcla líquida³⁰

Densidad ρ	kg/m ³
Propano	507
Butano	580

²⁸ Ibidem, Tabla 5

²⁹ Ibidem, Tabla 4

³⁰ CRANE, Flujo de Fluidos en Tuberías, Válvulas y Accesorios. Mc. Graw Hill. 1998, México. Tabla A-6

3.6.3 Balance de materia en el horno de reverbero

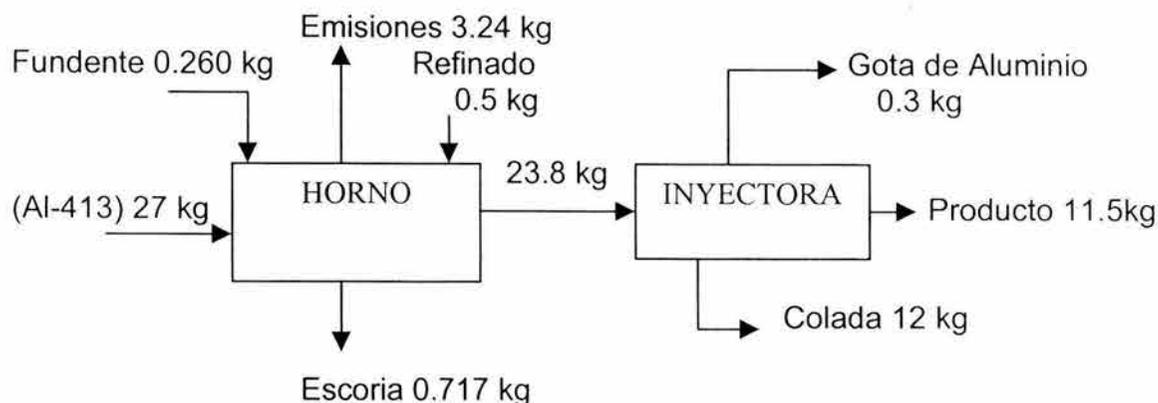


Figura 3.7 Balance de materiales en el horno de reverbero

Las emisiones se calcularon con un balance de materiales tradicional, de la misma manera que para el horno de crisol.

A partir del estudio realizado presentado por la empresa KAMPE S.A de C.V. se determinó que los gases de combustión no contienen monóxido de carbono. Esto resulta raro ya que la empresa no pone a funcionar el lavador de gases por los altos consumos de energía eléctrica debido a su sobrediseño .

Para el gas L.P se obtuvo un consumo de 8.07 litros en 43 minutos, tiempo en el cual se realizó el estudio con base en índices de consumo de combustible monitoriados en la empresa, como se muestra en el anexo 2 de la memoria de cálculo.

La composición del gas L.P es 40% propano y 60% butano³¹.

De esta manera el consumo de gas propano fue de 3.228 litros y de 4.842 litros de butano. Esto se calcula de la siguiente forma:

Propano: $8.07 \text{ L} * 0.4 = 3.228 \text{ L}$

Butano: $8.07 \text{ L} * 0.6 = 4.842 \text{ L}$

Con los resultados anteriores se obtiene que la cantidad de gases de combustión a una temperatura de 1200 °C generados en el lote seguido son:

³¹ Perry Op. Cit. Tabla 9-30

$$\text{CO}_2 = 1.026 \text{ ft}^3 = 29.05 \text{ litros}$$

$$(\text{H}_2\text{O})_v = 1.311 \text{ ft}^3 = 37.12 \text{ litros}$$

$$\text{N}_2 = 6.328 \text{ ft}^3 = 179.19 \text{ litros}$$

El total de gases de combustión es de $8.665 \text{ ft}^3 = 245.36 \text{ L}$.

El total de los gases de combustión en el lote seguido fue de 245.36 L., a partir de la ley de los gases ideales, conociendo que la masa molecular de la mezcla de éstos es de 28.38 g/mol, es posible obtener la masa de los gases de combustión, la cual resultó ser de 0.2123 kg.

De esta manera 3.03 kg son en parte contaminantes a la atmósfera y elementos de la aleación que precipitan en el proceso de fusión.

Es importante hacer mención que según información de la cédula de operación anual de la empresa se pierde aproximadamente el 10% de material atribuidas a malas prácticas de manufactura y en este caso obtuvimos pérdidas del 12% .

3.6.4 Balance de energía en el horno de reverbero

De acuerdo a los consumos de gas L.P obtenidos de los datos monitoreados en la planta fundidora de aluminio se obtuvo el consumo de gas L.P para el lote estudiado de producción.

El consumo de gas se calculo por medio de un promedio aritmético de los consumos de gas en la planta (ver memoria de cálculo de consumo de gas L.P, anexo 2).

$$\text{Índice de consumo} = 11.26 \text{ L/h}$$

$$\text{Tiempo de el lote} = 43 \text{ minutos} = 0.717 \text{ h. Por lo tanto } 11.26 \text{ L/h} * 0.717 \text{ h} = 8.07 \text{ L}$$

En este caso se considera una aleación binaria Al-Si, para el uso del diagrama de fases Al-Si para una composición del 13 % de Si (aleación 413), en el diagrama de fases se encontró una temperatura de fusión de la aleación de 594 °C.³²

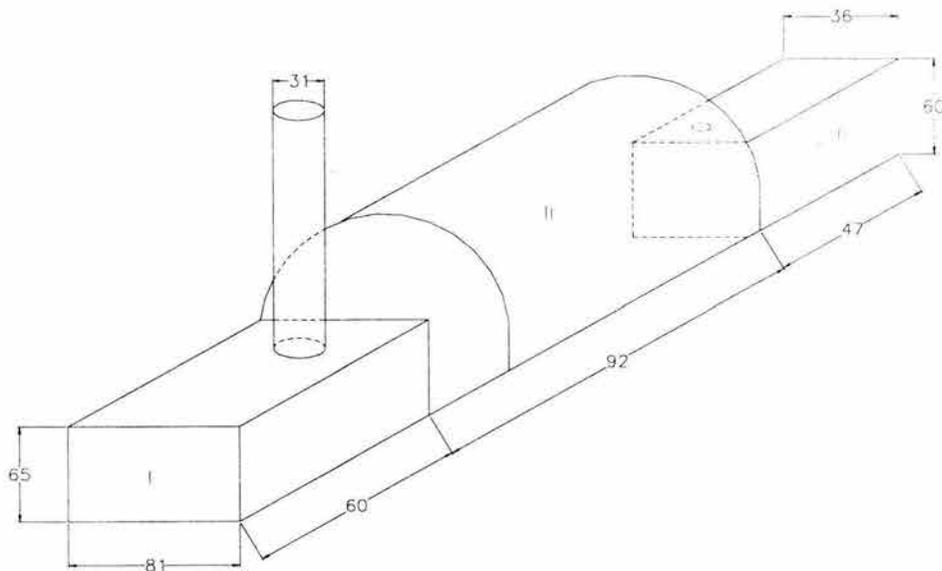
Para obtener el calor necesario para llevar el material hasta la temperatura de operación fue imprescindible calcular el calor para llevar la masa de aleación hasta la temperatura de fusión, posteriormente para el cambio de fase de sólido a líquido y por último para llevarlo hasta la temperatura de operación. El resultado obtenido fue 6,870.6 kcal.

³² Frakking P. L. Op. Cit. P. 108

Para calcular las pérdidas de calor en el horno se efectuó un estudio de transferencia de calor a partir del diseño del horno y el resultado fue de 23,353.38 kcal.

Se consideró una composición 60% butano y 40% propano, para el gas L.P obteniendo un poder calorífico de 6,534.62 kcal / L, y un consumo de 8.07 L por lo que el calor proporcionado por el gas L.P fue de 52,734.38 kcal, lo cual significa que no se aprovecharon 29,380.9 kcal, o dicho de otra manera, el consumo de gas L.P es de 2.26 veces más que el requerido. De lo anterior se deduce que la cantidad de gas L.P gastado en exceso es 4.49 L de gas en cada lote. A continuación se presenta la metodología para calcular las pérdidas de calor por el diseño del horno, ver memoria de cálculo, anexo 4.

Secuencia de cálculo para evaluar pérdidas de calor en el horno de reverbero



Diámetro cámara de combustión = 105 cm

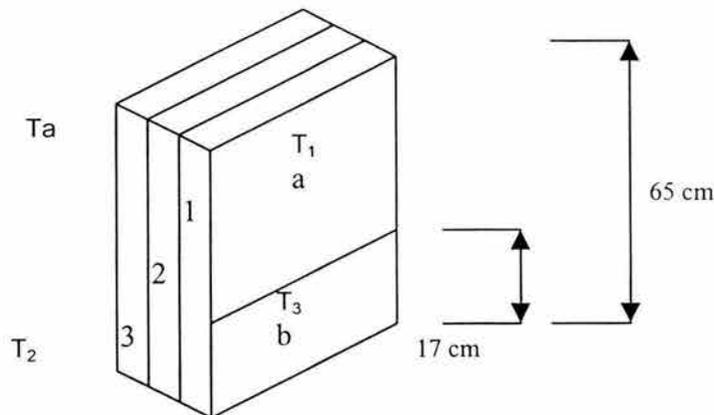
Diámetro reverbero = 22 cm

Figura 3.8 Dimensiones del horno de reverbero en cm

1. Cálculo de las pérdidas de calor en la sección I del horno de reverbero

1.1 Cálculo en las paredes laterales de la sección I

El cálculo se efectúa como si fueran paredes compuestas y con dos zonas de temperatura medidas con un termómetro de contacto en las paredes exteriores del horno, ya que una parte del horno esta en contacto con los gases de combustión y la otra con el caldo de fusión, por las condiciones de diseño del horno de reverbero como se muestra en la fig. 3.8. A continuación se presentan las ecuaciones para calcular las pérdidas de calor en ambas zonas de temperatura.



- 1: espesor de hierro forjado = 0.635 cm
- 2: espesor del asbesto = 10 cm
- 3: espesor de la arcilla refractaria = 9 cm

Figura 3.9 Paredes laterales del horno de reverbero

Para la zona a (ver figura 3.9) se utiliza la ecuación³³

$$Q_0 = \frac{(T_a - T_1) \cdot A}{\frac{1}{hm} + \sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{ki-1,i}}} \quad 3.12$$

en donde

- Q_0 : flujo de calor por unidad de tiempo (cal/s)
- A: área de transferencia de calor (cm²)
- Ta: temperatura de los gases de combustión (°K)

³³ Bird R. B. Op. Cit. p. 9-23

T_1 : temperatura en la pared exterior de la tapa del horno de reverbero ($^{\circ}\text{K}$)
 h_m : coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del horno ($\text{cal}/\text{cm}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{K}$)
 x_i : dimensiones del espesor de la pared para cada material
 k_i : conductividad térmica de los materiales de la pared ($\text{cal}/\text{cm s } ^{\circ}\text{K}$)

Para la zona b (ver figura 3.9) se utiliza la ecuación³⁴

$$Q_o = \frac{(T_2 - T_3) A}{\sum_{i=1}^3 \frac{x_i}{k_{i-1,i}}} \quad 3.13$$

en donde

A: área de transferencia de calor (cm^2)
 T_2 : temperatura del material fundido en el interior del horno de reverbero($^{\circ}\text{K}$)
 T_1 : temperatura en la pared exterior del horno de reverbero ($^{\circ}\text{K}$)
 X_i : dimensiones del espesor de la pared para cada material (cm)
 K_j : conductividad térmica para cada material de construcción del horno ($\text{cal}/\text{cm s } ^{\circ}\text{K}$)

1.2 Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa superior del horno de reverbero

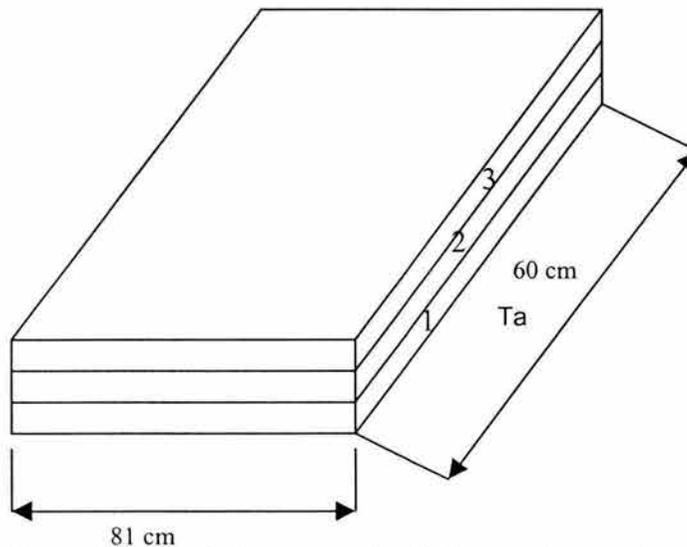


Figura 3.10 Dimensiones de la tapa superior del horno de reverbero de la sección 1

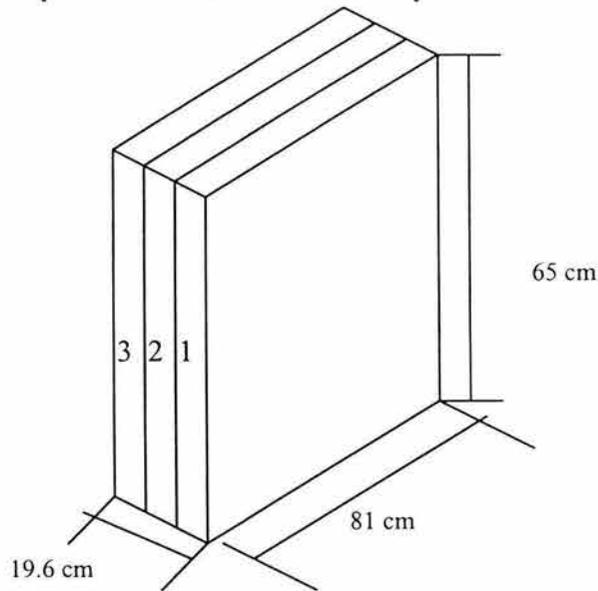
Para calcular las pérdidas de calor se utiliza la ecuación 3.12 con la geometría mostrada en la figura 3.10:

³⁴ Ibidem p. 9-26

1.3 Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa inferior del horno de reverbero

Se utiliza la misma geometría, materiales y espesores de la fig. 3.10, lo único que cambia es el perfil de temperaturas. Para este cálculo se utiliza la ecuación 3.13:

1.4 Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa del horno de reverbero



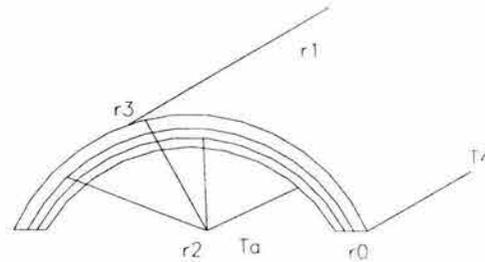
- 3: espesor arcilla refractaria = 9 cm
- 2: espesor asbesto = 10 cm
- 1: espesor hierro forjado = 0.635 cm

Figura 3.11 Dimensiones de la tapa del horno de reverbero de la sección 1

Para realizar el cálculo de las pérdidas de calor en la tapa del reverbero se usa la ecuación 3.12, lo único que cambia es el perfil de temperaturas. Usamos la geometría mostrada en la fig. 3.11, así como los materiales mostrados.

2. Cálculo de las pérdidas de calor en la sección II del horno de reverbero

2.1 Cálculo de las pérdidas de calor en el domo superior del reverbero



$r_0 = 32.865 \text{ cm}$
 $r_1 = 41.865 \text{ cm}$
 $r_2 = 51.865 \text{ cm}$
 $r_3 = 52.5 \text{ cm}$
 $L = 92 \text{ cm}$

Figura 3.12 Dimensiones del domo superior del horno de reverbero

Para calcular las pérdidas de calor en el domo superior del reverbero se utiliza la ecuación siguiente.³⁵

$$Q_o = \frac{1.5065 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_a - T_4)}{\frac{1}{r_0 h m} + \frac{\ln(r_1/r_0)}{k_{01}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{23}}} \quad 3.14$$

en donde

Q_o : flujo de calor por unidad de tiempo (kcal /s)

T_a y T_4 : temperaturas indicadas en la fig. 3.12 (°K)

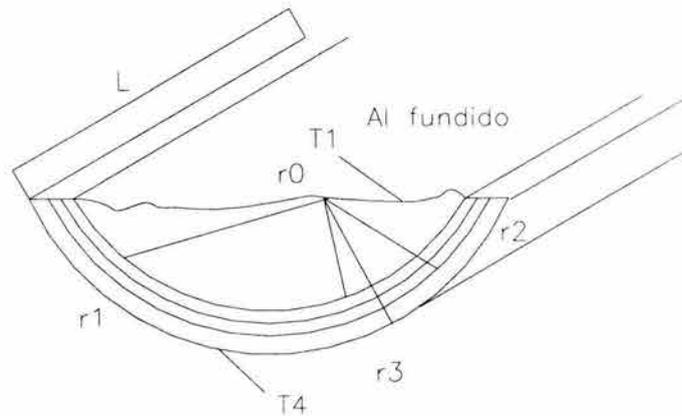
r_0, r_1, r_2, r_3 : radios mostrados en la fig. 3.12 (cm)

³⁵ Ibidem p. 9-26

k_{01}, k_{12}, k_{23} : conductividades térmicas de la arcilla refractaria, asbesto y del hierro forjado respectivamente (cal/cm s °K)

hm: coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del horno de reverbero (cal/cm² s °K)

2.2 Cálculo de las pérdidas de calor en el domo inferior del horno de reverbero



$r_0 = 32.865$ cm
 $r_1 = 41.865$ cm
 $r_2 = 51.865$ cm
 $r_3 = 52.5$ cm
 $L = 92$ cm

Figura 3.13 Dimensiones del domo inferior del horno de reverbero de la sección II

El cálculo de las pérdidas de calor en el domo inferior del reverbero se realiza mediante la siguiente ecuación.³⁶

$$Q_o = \frac{0.4934 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_4)}{\frac{\ln(r_1/r_0)}{k_{01}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{23}}} \quad 3.15$$

³⁶ Loc. Cit.

En donde las dimensiones para los cálculos se toman según la fig. 3.13, al igual que el perfil de temperaturas.

3. Cálculo de las pérdidas de calor en la sección III del horno de reverbero

3.1 Cálculo de las pérdidas de calor en la pared frontal del reverbero

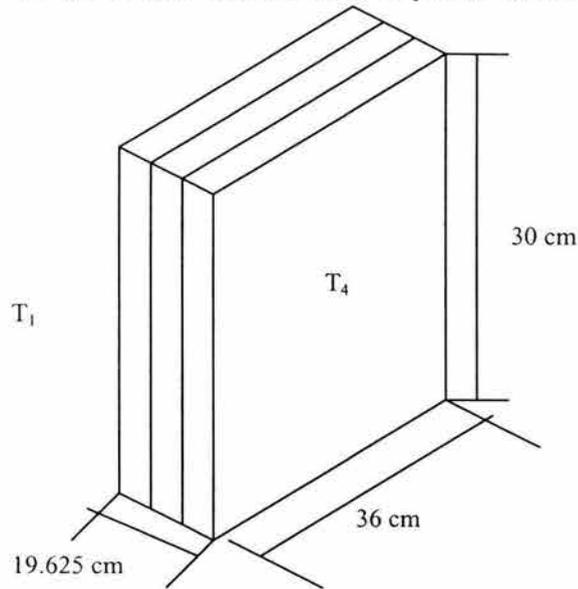


Fig. 3.14
Dimensiones de la pared frontal del reverbero

El material del refractario aislante del horno tiene los mismos materiales y los mismos espesores usados con anterioridad. Las pérdidas de calor se calculan con la ecuación 3.13, para el perfil de temperaturas dado. La geometría de la transferencia de calor se muestra en la figura 3.14.

3.2 Cálculo de las pérdidas de calor en las paredes laterales del horno de reverbero

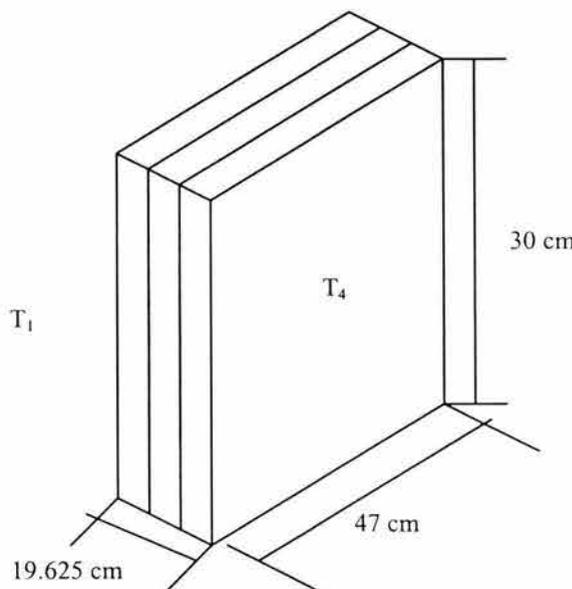


Fig. 3.15
Dimensiones de las paredes laterales del reverbero

El material del refractario aislante del horno tiene los mismos materiales y los mismos espesores usados con anterioridad. Las pérdidas de calor se calculan con la ecuación 3.13, para el perfil de temperaturas dado. La geometría usada se muestra en la figura 3.15 y a partir de ella se calculan las pérdidas de calor.

3.3 Cálculo de las pérdidas de calor en el fondo del reverbero

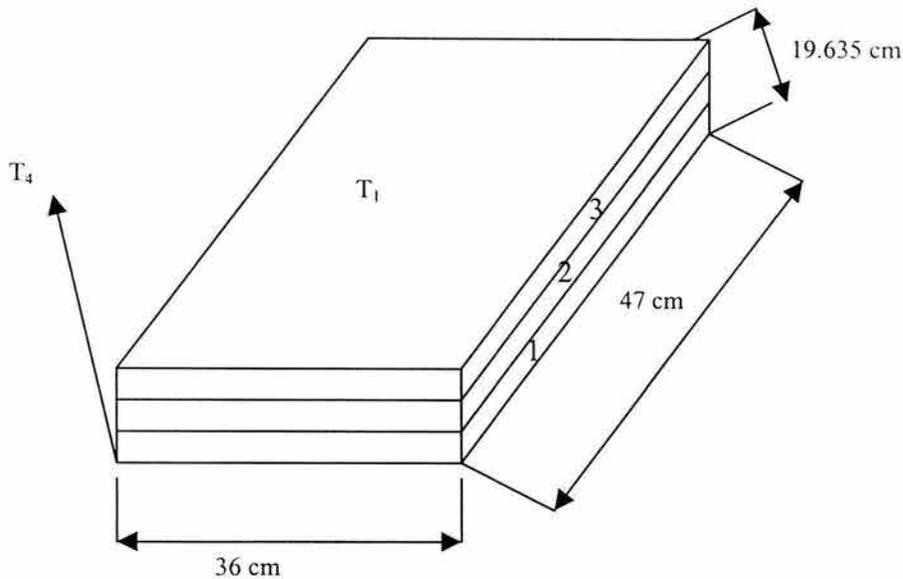


Figura 3.16 Dimensiones del fondo del reverbero

Para calcular las pérdidas de calor en el fondo del reverbero se consideran los mismos materiales y espesores para todo el caparazón del horno de reverbero. Las pérdidas de calor se calculan con la ecuación 3.13 y se utiliza la geometría mostrada en la figura 3.16

4. Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en el horno de reverbero

4.1 Cálculo de pérdidas por radiación en la sección III (entre cámara de combustión y el reverbero)

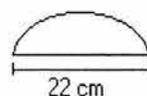


Figura 3.17 Dimensiones del orificio del horno de reverbero

Para calcular las pérdidas de calor en el reverbero, se utilizan las ecuaciones de radiación mostradas en la secuencia de cálculo del horno de crisol. La geometría para la radiación de calor se muestra en la figura 3.17

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann (Bird, Byron, 1993)

$$Q = \sigma \cdot e \cdot A \cdot T^4$$

en donde

Q: cantidad de calor perdido por radiación por unidad de tiempo

σ : constante de Boltzmann, $4.78 \cdot 10^{-8}$ kcal / hm² °K

A: área perpendicular al flujo de calor (m²)

T: temperatura absoluta en °K

e: emisividad total, adimensional
para una superficie negra e = 1

4.2 Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en la superficie del reverbero, los orificios en la tapa del reverbero y la chimenea del horno.

Los cálculos de estas pérdidas de calor por radiación se llevan a cabo con la ecuación de Stefan Boltzmann, variando únicamente el área de emisión y el valor de la emisividad total en el caso de la superficie del reverbero.

Por último se suman todas las pérdidas de energía por las condiciones de diseño del horno y le sumamos la energía necesaria para llevar la aleación a la temperatura de operación, posteriormente se resta esta suma de energías a la proporcionada por el combustible, para de esta forma calcular la eficiencia del proceso de combustión en el horno de reverbero.

La metodología de cálculo se encuentra en el anexo 4 del trabajo, donde se describe paso a paso las operaciones que se requirieron para obtener los resultados que en este capítulo se mencionan.

3.7 COSTOS ASOCIADOS A LOS LOTES DE PRODUCCIÓN

Para el lote seguido en el horno de crisol, se realizó una estimación del costo de producción con base en los costos de los materiales involucrados y los costos de los principales servicios auxiliares asociados con el, en la tabla 3.8 se enumeran todos los costos asociados al lote de producción, correspondiente a la fundición de la aleación 413 de aluminio (colada), así como el costo total de dicho lote.

Tabla 3.8 Costos Asociados al lote de producción en el horno de crisol

Material	Consumo en el lote (kg)	Costo Unitario (\$/kg)	Costo Total (\$)
Colada de aluminio 413	37	17.4	643.8
Fundente	0.0925	7.42	0.6863
Refinado	0.185	46.37	8.6
Energía eléctrica, motor del ventilador	0.7144 kWh	1.25 \$/kWh	0.893
Energía eléctrica, compresor	0.9860 kWh	1.25	1.23
Energía eléctrica, inyectora	1.90 kWh	1.25	2.38
Total de energía eléctrica	3.60 kWh	1.25	4.5
Gas L.P	6.56 L	3.45 \$/L	22.6
COSTO TOTAL DEL LOTE			684.69

El cálculo del consumo de gas L.P en el lote de producción se basó en el estudio de índices de consumo mostrado en el anexo 2, el cual correspondió a 6.56 litros de gas L.P. El costo de gas L.P es de \$ 3.45/L, lo que corresponde a \$ 22.6 de consumo de gas L.P en el lote de producción.

Los consumos de energía eléctrica principales se dividieron en tres secciones importantes:

- Consumo de energía eléctrica del motor del ventilador para el proceso de combustión
- Consumo de energía eléctrica del sistema de aire comprimido para usar el desmoldante líquido de aluminio en los moldes
- Consumo de energía eléctrica en la máquina inyectora

Se realizan las siguientes mediciones de equipo eléctrico a partir de la definición de potencia eléctrica.

$$P = I V = \text{Watts} \quad 3.16$$

En donde:

P: potencia eléctrica en Watts

I: intensidad de la corriente en Amperes

V: voltaje en Volts

Motor del ventilador de aire = Voltaje prom. * corriente prom. * tiempo / 1000

Motor del ventilador de aire = $208.3 \text{ V} * 5.88 \text{ A} * 0.5833 \text{ h} / 1000 = 0.7144 \text{ kWh}$

Compresor de la nave = Voltaje prom. * corriente prom. * tiempo / 1000

Compresor de la nave = $213.3 \text{ V} * 15.85 \text{ A} * 0.5833 \text{ h} / 1000 = 1.97 \text{ kWh} / 2 = 0.9860 \text{ kWh}$

- Se divide entre dos porque en el momento de realizar el estudio en esa parte de la nave se encontraban funcionando solamente dos máquinas.

Inyectora = Voltaje prom. * corriente prom. * tiempo / 1000

Inyectora = $115 \text{ V} * 28.26 \text{ A} * 0.5833 / 1000 = 1.90 \text{ kWh}$

Total de consumo de energía eléctrica = $0.7144 + 0.9860 + 1.90 = 3.60 \text{ kWh}$

El costo del kWh es de \$ 1.25/ kWh, por lo que el consumo de energía eléctrica resultó ser de \$ 4.5 en el lote de producción seguido.³⁷

Es importante hacer mención que en la fabricación de las piezas, no todo el material alimentado al horno de crisol es producto terminado. Estos costos representan el material que se funde, sin embargo parte de este material se recicla con un costo adicional para otro lote de producción.

Según los balances de materia (ver anexo 4), de producto terminado se obtienen 17.87 kg, resultando 83 piezas del producto manufacturado. Teniendo un rendimiento del 48.29 % de la materia prima original, en función al producto terminado.

Este porcentaje no es posible mejorarlo, porque depende del diseño de los moldes la cantidad de colada obtenida.

Para poder entender claramente lo que está sucediendo, a continuación se presenta uno de los formatos del programa de prevención y disminución de la contaminación presentado con anterioridad en el presente trabajo, denominado " Información del Proceso de Fundición ".³⁸

³⁷ Recibos de pago de energía eléctrica de la empresa.

³⁸ Supra p. 13

Tabla 3.9 Información del proceso de Fundición

Colada Número 001 Fecha: 14-junio-2003

Material Colada de aluminio 413

Hora empieza la carga 9:00 A.M Hora termina el lote 9:35 A.M

Lectura inicial kW 0.0

Lectura final kW 7.855

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	O
1	37	0.215	0.215	0.194	0.18	90.2	92	6	86	6.5	0.06	16.73	45.2	
2														
3														
4														
Suma	kg 37	kg 0.215			kg 0.18							Total kg 16.73		Valor Total de Venta

- a: pieza de referencia
- b: peso total cargado
- c: peso bruto total c / tipo de pieza
- d: peso bruto de pieza individual
- e: peso neto de pieza individual
- f: peso de desperdicios
- g: % aprovechamiento $e/d * 100$
- h: cantidad total de cada pieza
- i: cantidad final de rechazos
- j: cantidad final de piezas buenas
- k: rechazos %
- l: aprovechamiento real por pieza $i*e / g*d$
- m: peso total de piezas buenas individual
- n: aprovechamiento real de la colada %
- o: valor de venta

Para el lote seguido en el horno de reverbero, se realizó una estimación del costo de producción con base en los costos de los materiales involucrados y los costos de los principales servicios auxiliares asociados con él, en la tabla 3.10 se

enumeran todos los costos asociados al lote de producción, correspondiente a la fundición de la aleación 413 de aluminio, así como el costo total de dicho lote.

Tabla 3.10 Costos Asociados al lote de producción en el horno de reverbero

Material	Consumo en el lote (kg)	Costo Unitario (\$/kg)	Costo Total (\$)
Colada de aluminio 413	27	17.4	469.8
Fundente	0.054	7.42	0.4006
Refinado	0.185	46.37	8.6
Energía eléctrica, motor del ventilador	0.1832 kWh	1.25 \$/kWh	0.229
Energía eléctrica, compresor	1.40	1.25	1.75
Energía eléctrica, inyectora	2.36	1.25	2.95
Total de energía eléctrica	3.60	1.25	4.92
Gas L.P	8.07 L	3.45 \$/L	27.84
Costo Total del Lote			516.48

El cálculo del consumo de gas L.P en el lote de producción se basó en el estudio de índices de consumo mostrado en el anexo 2, el cual correspondió a 8.07 litros de gas L.P. El costo de gas L.P es de \$ 3.45 / L, lo que corresponde a \$ 27.84 de consumo de gas L.P en el lote de producción.

Los consumos de energía eléctrica principales se dividen en tres secciones importantes:

- Consumo de energía eléctrica del motor del ventilador para el proceso de combustión
- Consumo de energía eléctrica del sistema de aire comprimido para usar el desmoldante líquido de aluminio en los moldes.
- Consumo de energía eléctrica en la máquina inyectora

Se realizaron las siguientes mediciones de equipo eléctrico a partir de la definición de potencia eléctrica, por medio de la ecuación 3.16

$$P = V I$$

Motor del ventilador de aire = Voltaje prom * Corriente prom * tiempo / 1000

Motor del ventilador de aire = 211.3 V * 1.21 A * 0.7166 h / 1000 = 0.1832 kWh

Compresor de la nave = Voltaje prom * Corriente prom * tiempo / 1000

Compresor de la nave = 213 V * 11.79 A * 0.7166 h / 1000 = 1.8 kWh
 = 213.3 V * 15.85 A * 0.7166 h / 1000 = 2.42 kWh

la suma de ambos consumos es: 4.22 kWh/3 = 1.40 kWh

- Se divide en tres porque en el momento de realizar el estudio en esa parte de la nave se encontraban funcionando solamente tres máquinas.

$$\text{Inyectora} = \text{Voltaje prom} * \text{Corriente prom} * \text{tiempo} / 1000$$

$$\text{Inyectora} = 210 \text{ V} * 15.73 \text{ A} * 0.7166 \text{ h} / 1000 = 2.36 \text{ kWh}$$

$$\text{Total de consumo de energía eléctrica} = 0.1832 + 1.40 + 2.36 = 3.94 \text{ kWh}$$

El costo del kWh es de \$ 1.25 / kWh, por lo que el consumo de energía eléctrica resultó ser de \$ 4.92 en el lote de producción seguido.

Cabe hacer mención que en la fabricación de las piezas no todo el material que se alimenta al horno de reverbero es producto terminado. Este análisis de costos representa el material que se funde, sin embargo, parte de este material se recicla con un costo adicional para otro lote de producción.

De acuerdo a los balances de materia (ver anexo 4), de producto terminado se obtienen 11.5 kg, obteniéndose 50 piezas del producto manufacturado. Con un rendimiento del 42.59 % de la materia prima original, en función al producto terminado obtenido.

Por lo cual este porcentaje no es posible mejorarlo, porque depende del diseño de los moldes la cantidad de colada obtenida.

A continuación se presenta en la tabla 3.11 la información del proceso de fundición.

Los resultados obtenidos de la información del proceso de fundición, se basan en la misma pieza manufacturada, lo único que varía fue el diseño del molde y el tipo de horno utilizado.

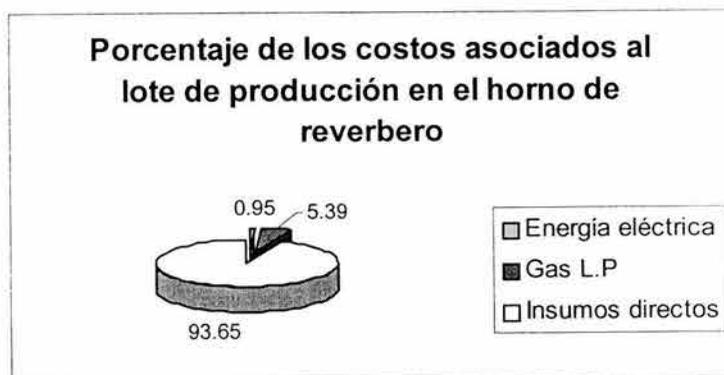
Tabla 3.11 Información del proceso de fundición

Colada Número	<u>.002</u>	Fecha:	<u>.8 julio de 2003</u>
Material	<u>Colada de Aluminio 413</u>		
Hora empieza la carga	<u>2:00 P.M</u>	Hora termina el lote	<u>2:43 P.M</u>
Lectura inicial kW	<u>0.0</u>		
Lectura final kW	<u>5.49</u>		

a	B	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	O
1	27	0.215	0.215	0.194	0.30	90.2	59	4	55	6.8	0.04	11.44	42.4	
2														
3														
4														
Suma	kg 27	kg 0.215			kg 0.30							Total kg 11.44		Valor Total de Venta

- a: pieza de referencia
- b: peso total cargado
- c: peso bruto total c/tipo de pieza
- d: peso bruto pieza individual
- e: peso neto pieza individual
- f: peso desperdicios
- g: % aprovechamiento e/d *100
- h: cantidad total de cada pieza
- i: cantidad final de rechazos
- j: cantidad final piezas buenas
- k: rechazos en %
- l: aprovechamiento real por pieza i*e / g*d
- m: peso total de piezas buenas individual
- n: aprovechamiento real de la colada %
- o: valor de venta

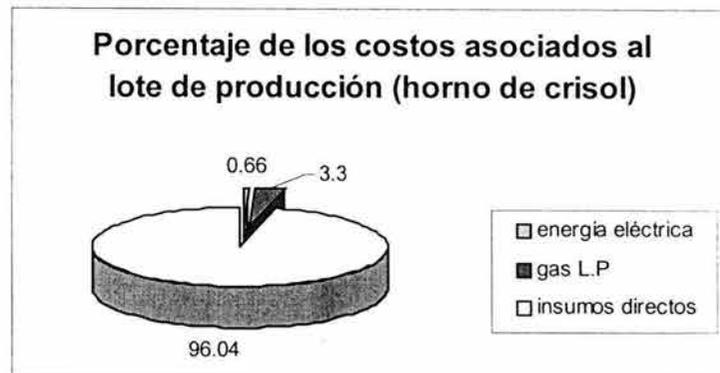
Figura 3.18 Porcentajes de los costos asociados al lote de producción



Con los resultados obtenidos y sabiendo que la producción en dicho lote fue de 27 kg de colada, pueden obtenerse los costos asociados al lote de producción, como se muestra en la figura 3.18.

En la figura 3.18 se muestran los porcentajes correspondientes aproximados a los costos de insumos directos, gas L.P y energía eléctrica, respecto del costo total del lote. Cabe resaltar que las materias primas son de gran importancia en el costo de producción (93.65%), le siguen los consumos de gas L.P (5.39%), siendo menor el consumo por energía eléctrica con un consumo de (0.95%).

Figura 3.19



A partir de los resultados obtenidos en el estudio y conociendo que la producción en el lote fue de 37 kg de colada, pueden obtenerse los costos asociados a dicho lote, como se encuentra en la figura 3.19.

En la figura 3.19 se muestran los porcentajes aproximados a los costos de insumos directos, gas L.P y energía eléctrica, con respecto al costo total del lote. Es importante mencionar que las materias primas son de gran importancia en el costo total de la producción (96.04%), en segundo lugar los consumos de gas L.P (3.3%) y en tercer lugar el consumo de energía eléctrica con (0.66%).

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 OPORTUNIDADES PARA LA DISMINUCIÓN Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

En la empresa se identificaron una serie de oportunidades para la prevención y disminución de la contaminación las cuales se presentan a continuación en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Identificación de oportunidades de prevención y disminución de la contaminación

Oportunidad	
1	Tapar perforaciones en el horno de crisol donde se desarrollaron los balances de materia y energía, para de esta manera reducir los consumos de combustible y por consiguiente, las emisiones de contaminantes a la atmósfera.
2	Se recomienda un control más estricto de la temperatura durante el proceso de fusión en los hornos de crisol y reverbero, para de esta manera reducir rechazos de producto terminado (por absorción de hidrógeno) y una disminución de los consumos de combustible, que no se pueden cuantificar por no tener un control de temperatura
3	Desde un punto de vista técnico la ubicación de la torre de enfriamiento de la segunda sección de la planta no es adecuada, ya que genera un ambiente húmedo en el área de proceso lo que provoca una mayor cantidad de hidrógeno en los caldos de fusión que genera una mayor porosidad de las piezas producidas. Además de recomendar su instalación fuera de la nave aprovechando la dirección de los vientos para su mejor operación
4	Se recomienda la instalación de un sistema de control para regular los flujos de aire/combustible que en este caso no son los adecuados, para de esta manera aprovechar al máximo el calor que genera el combustible en el horno de crisol donde se llevo a cabo el estudio. Se obtuvo que la combustión solo tiene una eficiencia del 44.34% (ver memoria de cálculo de balances de energía, Anexo 4) lo que originó una pérdida de 23,856.77 kcal de energía en 35 minutos.
5	Se recomienda de la misma forma la instalación de un sistema de control para regular los flujos aire/combustible para el horno de reverbero donde se llevo a cabo el estudio, en el cual se obtuvo una eficiencia del 44.28 % (ver memoria de cálculo, Anexo 4), lo que originó una pérdida de 29,380.9 kcal de energía en 43 minutos que duró el estudio.
6	En la segunda sección de la planta no se cuenta con un sistema de extracción de humos, lo que ocasiona que los gases de combustión y demás partículas suspendidas permanezcan en el área laboral, provocando daños en la salud a largo plazo en los trabajadores del área. Además, se genera un ambiente todavía más húmedo en esta sección de la planta, debido a la reacción de combustión donde se libera vapor de agua.

Tabla 4.1 Continuación

7	Buscar la manera de instrumentar para dosificar adecuadamente las cantidades de fundente y refinado, para lograr tener un máximo aprovechamiento de las propiedades de éstos.
8	Establecer una metodología para cargar los hornos de crisol y reverbero, ya que no existe un control sobre lo que se esta alimentando y la manera de alimentarlos (es muy aleatoria la forma de cargarlos), esto es en relación a la cantidad de material alimentado en relación a sus composiciones de material virgen y reciclado. Esta oportunidad trae beneficios económicos por la obtención de mejores productos finales, en cuanto a especificaciones.
9	Cambiar la tapa del horno de reverbero y tapar orificio entre el reverbero y la cámara de combustión para evitar fugas de calor por radiación y convección disminuyendo de esta manera los consumos de combustible y las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Las pérdidas de energía se consideran del orden de 1646.53 kcal en 43 minutos, en el reverbero donde se realizó el estudio.
10	Establecer buenas prácticas de manufactura en el vaciado del material fundido a la máquina inyectora para evitar reprocesos.
11	Existen problemas en cuanto al sobrediseño de algunos motores que se usan en el proceso de fundición a presión, como son los motores de los ventiladores de aire de los hornos de crisol y reverbero, así como los tres compresores existentes en la planta, lo que ocasiona una penalización por bajo factor de potencia por parte de la compañía de Luz y Fuerza. Para lo cual se propone la instalación de un banco de capacitores, para reducir esta multa que asciende aproximadamente a \$ 4,575.85 / mes o \$ 54,910.2 / año.
12	Cambiar los hornos actuales por hornos de inducción, los cuales son amigables al ambiente y permiten tener un mejor control sobre la fusión. Los hornos de inducción son aproximadamente de 75 a 80 % más eficientes y permiten aproximadamente 75 % menos de polvos y humos, debido a la ausencia de gases de combustión.
13	Uso inadecuado del sistema de enfriamiento (torre de enfriamiento de agua de la segunda sección de la planta). Hay ocasiones en que las máquinas no funcionan y las bombas que alimentan estas máquinas operan normalmente ocasionando pérdidas económicas por un consumo extra de energía eléctrica, no cuantificada. Además no se cuenta con la información técnica sobre las condiciones del agua de enfriamiento que requieren las máquinas inyectoras, para poder realizar un balance de energía en las máquinas. Ver anexo 3 de monitoreo de la torre de enfriamiento.
14	En la planta no existen espacios físicos ideales para almacenar producto terminado y como las instalaciones de la planta no son las adecuadas, se corre el riesgo de mojarlo en época de lluvias, lo que ocasiona daño al material, teniendo que reprocesarlo provocando un mayor consumo de combustibles, energía eléctrica y emisiones a la atmósfera.

4.2 Análisis costo-beneficio

Con el fin de continuar con las etapas del programa de prevención y disminución de la contaminación, se procede a una evaluación técnica, económica y ambiental de las oportunidades identificadas, para realizar un estudio de factibilidad económica. Algunas oportunidades requieren solamente pequeños cambios en las prácticas de manufactura; sin embargo, otras requieren importantes cambios en la tecnología y fuertes inversiones de capital, siendo necesario un análisis económico más complejo.

Tabla 4.2 Generalidades de las oportunidades identificadas

Oportunidad	
1	Esta oportunidad genera ahorros significativos que de acuerdo al balance de energía en el horno de crisol, se están desperdiciando 1.36 L gas / h, que equivalen a 10346.88 L gas / año, lo que equivale a \$35,696.7 / año y disminuye emisiones a la atmósfera que se estiman en 267.19 kg / año de contaminantes por quemar más combustible del necesario. Periodo de recuperación de la inversión 5 días.
2	Esta oportunidad requiere de una inversión económica en el sentido de establecer un sistema de control, para evitar cambios drásticos en la temperatura del material fundido en el horno en cuestión, además de obtener beneficios ambientales considerables no cuantificados. La inversión requerida sería de \$ 25,070/horno tanto para los crisoles como para el reverbero. Esta oportunidad genera ahorros en el uso de combustible y en el reciclado de materiales que por las condiciones de operación de la planta no es posible cuantificar. La cotización se realizó con la empresa Combustión y Automatización Industrial S.A. de C.V.
3	Esta oportunidad requiere una inversión mínima, técnicamente factible, produciendo beneficios económicos y ambientales que por las condiciones del proceso no se pueden cuantificar económicamente. La oportunidad se puede implantar por el personal de mantenimiento de la planta.
4	Esta oportunidad genera beneficios económicos significativos pues se están dejando de aprovechar 23,856.77 kcal en 35 minutos, lo que representa 311,146,810.6 kcal/año de energía perdida, llevándola a litros de combustible significarian 47,615.14 L/año, lo que trae una pérdida económica de \$ 164,272.2/año. Se dejarían de producir 1,229.57 kg de gases de combustión a la atmósfera. Además se generaría menos monóxido de carbono a la atmósfera, considerado como un veneno. Para lograr este beneficio se requiere una inversión de \$97,251.7, para el horno de crisol. El periodo de recuperación de la inversión sería de 216 días. La cotización se realizó con la empresa Grupo Termointustrial ECA, S.A.de C.V.
5	Esta oportunidad genera beneficios ambientales y económicos significativos pues se están perdiendo 29,380.9 kcal en 43 minutos, lo que representa 40,996.6 kcal/h, llevando a un desperdicio anual significarian 311,902,168.2 kcal/año de energía no aprovechada, lo que representa 47,730.74 L combustible/año, lo cual representa \$ 164,671.04/año, para un costo de combustible de \$3.45/L, se dejarían de producir 1,544.71 kg de gases de combustión a la atmósfera. Además generaríamos menos monóxido de carbono a la atmósfera, considerado como un veneno. Para lograr este beneficio se requiere una inversión de \$ 105,857.0, para el horno de reverbero. El periodo de recuperación de la inversión sería de 234 días. La cotización se realizó con la empresa Grupo Termointustrial ECA, S.A. de C.V.
6	Esta oportunidad requiere una inversión económica no cuantificada, que no implica un ahorro económico para la empresa, pero si un mejor ambiente laboral y una mejor seguridad para los empleados de la planta. Además de evitar multas y sanciones a la empresa por parte de las autoridades correspondientes.

Tabla 4.2 Continuación

7	Esta oportunidad generaría un mayor consumo de fundente y refinado, pero se mejorarían las condiciones de los caldos de fusión, pues según especificaciones del proveedor, no se están agregando en las cantidades suficientes. Se requerirían 602 g de fundente para el horno de reverbero y 1001 g de fundente para el horno de crisol por turno de 8 h, en función a las condiciones en que se esta alimentando el material a los hornos. Estos datos son por turno, dado que el costo de fundente \$ 7.42/kg es muy bajo el costo, no sería considerable para la empresa, serían 585.81 kg de fundente al año, lo que representaría \$ 4,346.71/año. No obstante los beneficios en cuanto a calidad de producto terminado y menos reciclado justifican el gasto.
8	Esta oportunidad genera principalmente ahorros económicos que no pueden ser evaluados en este estudio por no contar con el tiempo necesario para este análisis, sin embargo, existe la oportunidad de mejorarlos para no dañar principalmente el material del crisol, así como tener un control más estricto de las mezclas de reciclado y lingote cargado a los hornos que representan pérdidas económicas y un mayor consumo de combustible a la empresa, lo que implica también una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera.
9	En esta oportunidad se están desperdiciando 2,297.48 kcal/h, lo que representa 17,479,256.15 kcal/año, lo que equivale a un consumo de gas L.P de 2,674.87 L/año, que equivale a un ahorro anual de \$9,228.30/año. Además generaría beneficios económicos del orden de 86.56 kg de gases de combustión al año. Periodo de recuperación de la inversión 79 días.
10	Esta oportunidad genera beneficios ambientales y económicos, sin inversión económica alguna. Para el horno de crisol se generan 2,347.61 kg/año y para el horno de reverbero 3,043.2 kg/año metal que se tiene que refundir teniendo un total de 5,390.81 kg/año, para lo cual necesitamos según el balance de materia y energía 1,378,518.5 kcal/año, lo cual representaría 210.95 L de gas L.P lo que en dinero serían \$727.28/año
11	Esta oportunidad genera solamente beneficios económicos, se recomienda la instalación de un banco de capacitores para así eliminar el cargo por bajo factor de potencia que en la empresa asciende a \$4,575.85/mes, lo que representa \$54,910.2/año. La planta opera con un factor de potencia de 73%, para elevarlo al 93% y evitar la multa se requiere una inversión de \$12,578.7 El periodo de recuperación sería de 84 días. La cotización se realizó en la empresa Cinemática de México S.A de C.V.
12	Con esta oportunidad se pretende cambiar la tecnología y usar hornos de inducción, la inversión requerida sería de: Un horno para la producción de aluminio 413, para producción total en el horno de crisol \$247,622.70 Un horno para producción total de Aluminio 413, para producción total en el horno de reverbero \$ 158,136.11 Los beneficios en productividad y ambientales son muy altos, los ahorros generados por el no uso de gas L.P serían muy altos del orden de 171,014.69 L de gas al año que equivalen a \$590,000.81/año. Además se dejan de emitir a la atmósfera 4,416.14 kg/año de gases de combustión. Además de terminar con el problema de porosidad en las piezas y se avanzaría hacia una nueva tecnología de punta. Periodo de recuperación de la inversión 251 días La cotización se realizó con la empresa Alta Frecuencia S.A de C.V.

Tabla 4.2 Continuación

13	Esta oportunidad genera beneficios económicos y ambientales importantes, ya que técnicamente no se tienen bien identificadas las condiciones de enfriamiento que se requieren para evitar un calentamiento en las máquinas inyectoras, lo que ocasiona parar el proceso ocasionando pérdidas económicas por vaciado de hornos y lingoteo de material contenido en el mismo. Esto origina reprocesos, además de tener que volver a calentar el aluminio. Se realizó un estudio térmico en la torre de enfriamiento a fin de tener caracterizado el sistema. En ocasiones existen bombas prendidas para el sistema de agua de enfriamiento a la máquina inyectora ocasionando consumos de energía eléctrica innecesarios, los cuales no se cuantificaron.
14	Esta oportunidad genera beneficios tanto económicos como ambientales. Las pérdidas no pueden ser evaluadas a no ser que se establezca un sistema de detección del material que se reprocesa por esta causa, lo que origina pérdidas económicas para la empresa.

Para realizar la evaluación ambiental-económica, fueron considerados dos conceptos:

- Disminución de emisiones a la atmósfera
- Generación de contaminantes

Por otra parte la evaluación económica solo se enfocó en un concepto

- Ahorros generados

Este concepto se refiere a los ahorros económicos generados por la instrumentación de la oportunidad.

En la tabla 4.3 se presentan las escalas para la evaluación ambiental y económica, para con esto jerarquizar las oportunidades para su implantación.

Tabla 4.3 Escalas de evaluación ambiental y económica

Evaluación ambiental

Calificación o escala	Disminución de emisiones
1	No hay disminución en las emisiones
5	Hay disminución de las emisiones
10	Disminuye significativamente las emisiones

Calificación o escala	Generación de contaminantes
1	Genera significativamente contaminantes
5	Genera contaminantes
10	No genera contaminantes

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Evaluación Económica

Calificación o escala	Ahorros generados
1	No genera ahorros económicos
5	Genera ahorros económicos
10	Genera significativamente ahorros económicos

En la tabla 4.4 se muestran los resultados de la evaluación ambiental-económica de acuerdo a las escalas antes mencionadas. También puede observarse como cada oportunidad es identificada respecto de las otras para cada rubro, tanto ambiental como económica en forma independiente.

Tabla 4.4 Evaluación ambiental-económica

Oportunidad	Escala Ambiental		Escala económica	
	Disminución de emisiones	Generación de contaminantes	Total ambiental	Ahorros generados
1	5	10	15	10
2	5	10	15	5
3	5	10	15	10
4	10	10	20	10
5	10	10	20	10
6	10	10	20	1
7	1	10	11	1
8	5	10	15	1
9	10	10	20	5
10	5	10	15	5
11	1	10	11	10
12	10	10	20	10
13	5	10	15	5
14	5	10	15	5

La empresa indicó tener las siguientes pretensiones económicas y ambientales:

- Criterio de ponderación económico 70%
- Criterio de ponderación ambiental 30%

Con los datos obtenidos en la tabla 4.4, se obtiene un total de ponderados que permite jerarquizar las oportunidades como se presenta en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Jerarquización de las oportunidades identificadas

Oportunidad	Evaluación ambiental ponderada	Evaluación económica ponderada	Total ponderados	Jerarquización
1	4.5	7.0	11.5	2
2	4.5	3.5	8.0	5
3	4.5	7.0	11.5	2
4	6.0	7.0	13.0	1
5	6.0	7.0	13.0	1
6	6.0	0.7	6.7	6
7	3.3	0.7	4.0	8
8	4.5	0.7	5.2	7
9	6.0	3.5	9.5	4
10	4.5	3.5	8.0	6
11	3.3	7.0	10.3	3
12	6.0	7.0	13.0	1
13	4.5	3.5	8.0	5
14	4.5	3.5	8.0	5

En la tabla 4.5 puede notarse que en la jerarquización hay oportunidades que tienen el mismo número, esto indica que son igualmente importantes desde el punto de vista ambiental-económico. Las oportunidades más importantes resultaron ser la 4, 5 y 12, de las cuales la 4 y la 5 tienen que ver con la relación de flujo aire/combustible en los hornos de crisol y reverbero respectivamente. Por lo que respecta a la oportunidad 12 implica un cambio en la tecnología, lo que conlleva a una alta inversión, sin embargo, sería recuperada rápidamente al eliminarse el consumo de gas L.P

Finalmente en la tabla 4.6 se presentan en un resumen las inversiones, ahorros y periodos de recuperación de las oportunidades que fueron evaluadas económicamente. (anexo 4)

Tabla 4.6 Resumen de oportunidades

Oportunidad	Inversión	Ahorro anual	Periodo de recuperación (días)
1	\$500	\$35696.7	5
4	\$97251.7	\$164272.2	216
5	\$105857	\$164671.04	234
9	\$2000	\$9228.30	79
10	Ninguna	\$1617.3	No aplica
11	\$12578.7	\$54910.2	84
12	\$405758.81	\$590000.81	251

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se identificaron oportunidades para la prevención y disminución de la contaminación en el proceso de fundición de aluminio a presión en una empresa fundidora de aluminio mexicana.

De donde se concluye que:

La oportunidad número 12, consistente en cambiar los hornos actuales por hornos de inducción, representan un cambio en la tecnología mostrando una amplia visión ecológica, ya que los hornos de inducción son amigables al ambiente. Este cambio implica una inversión de \$405,758 con un periodo de recuperación de 251 días.

Las oportunidades 4 y 5 implican una inversión de \$97,251 y \$105,857 respectivamente para la instalación de un sistema de control estricto del flujo aire/combustible, con lo que se garantiza un mejor aprovechamiento de la energía, lo que representa dejar de producir 1544 kg/año de gases de combustión a la atmósfera en el horno de reverbero y 1229 kg/año de gases de combustión para el horno de crisol, estos valores no se pueden comparar con la norma ya que la empresa no cuenta con análisis donde se cuantifique a los componentes generados en la combustión emitidos a la atmósfera, y la manera como se obtuvieron estos resultados fue considerando una combustión completa por lo que, son meramente teóricos y sirven como sustento de este trabajo para observar el ahorro de energía y una disminución en contaminantes que se liberan al ambiente. El periodo de recuperación para estas oportunidades son de 216 y 234 días respectivamente.

La implementación de la oportunidad número 1, que consiste en tapar las perforaciones en el horno de crisol, evitará pérdidas de calor al colocarse una tapa en el horno, esto representa un ahorro económico de \$35,697/año, con una inversión de \$500 y un periodo de recuperación de 5 días.

Debido al sobrediseño de algunos equipos, como son los motores de los ventiladores de los hornos y los tres compresores existentes en la planta, se requiere corregir el factor de potencia de la planta con la instalación de un banco de capacitores. La inversión requerida es de \$12,578, de esta manera se dejaría de pagar la multa por bajo factor de potencia.

Es necesario establecer buenas prácticas en el vaciado del material fundido a la máquina inyectora, ya que esto representa ahorros económicos de \$1617/año sin necesidad de inversión alguna. El ahorro no es significativo, pero solo se trata del estudio en dos hornos.

Cambiar la tapa del horno de reverbero y tapar el orificio entre el reverbero y la cámara de combustión evita fugas de calor por radiación y convección,

disminuyendo los consumos de combustible y las emisiones de contaminantes a la atmósfera. El ahorro es de \$9228/año, con un periodo de recuperación de 79 días.

Un control estricto de la temperatura durante el proceso de fusión en los hornos de crisol y reverbero reducen los rechazos de producto terminado (por absorción de hidrógeno), así como una disminución en el consumo de combustible. El periodo de recuperación de la inversión para esta oportunidad no puede cuantificarse por carecer de información y control del proceso.

Todas las oportunidades identificadas disminuyen las emisiones al ambiente, o generan ahorros económicos, o ambas situaciones, permitiendo a la empresa mejorar sus relaciones con las autoridades ambientales convirtiéndola en una industria amiga del ambiente y competitiva dentro de su ramo.

Recomendaciones

Se recomienda dar continuidad a las oportunidades implementadas para poder comparar el “antes” y “después”, y manejar el programa de prevención y disminución de la contaminación como una estrategia de mejora continua.

Para que la empresa alcance un desarrollo sustentable, se recomienda un cambio en la estructura organizacional que actualmente es horizontal, ya que la toma de decisiones por varios miembros no ha sido la adecuada para un funcionamiento exitoso. Probablemente una estructura vertical sería útil para un mejor desempeño.

Es necesario una mejor distribución de sus áreas (mantenimiento, sanitarios, procesos, oficinas de recursos humanos, etc.) para que en lo futuro se cuente con una mejor disposición de maquinaria y equipo, mejorando así la eficiencia de su proceso productivo.

Se recomienda la elaboración de programas de mantenimiento preventivo y correctivo para evitar pérdidas económicas debidas a paros inesperados en el proceso. Un paro inesperado trae consigo además de la pérdida del material, retrasos en la entrega de producto terminado a los clientes.

Es necesario la creación de un departamento de ingeniería para buscar soluciones en los momentos precisos y lograr la certificación del sistema de calidad ISO-9000. La creación de este departamento permitiría una mejor planeación y organización de la empresa.

Un modelo de administración totalmente horizontal para este tipo de empresa, la falta de capacitación a su personal a todos los niveles, la disminuida comunicación entre los diferentes departamentos y la carencia de recursos económicos, son características que presentan comúnmente las medianas empresas.

Se recomienda el funcionamiento continuo del lavador de gases para disminuir los contaminantes que son enviados a la atmósfera. Así mismo es recomendable que se encuentre en operación el sistema de extracción de polvos en el área de acabados (ver figura 3.1) para evitar problemas de salud a los trabajadores. No es conveniente que estos equipos solo funcionen cuando se van a realizar análisis mediante auditores ambientales o los análisis que reportan en su cédula de operación anual(COA).

La tecnología utilizada en esta industria es de hace 30 años, lo que limita considerablemente su desarrollo hacia un mercado cada vez más competitivo tanto nacional como internacional. Se sugiere un cambio de tecnología principalmente en los hornos en busca de una mejora continua y calidad total. Un sistema automatizado garantiza una disminución en los materiales reprocessados.

De acuerdo con los balances de materia y energía, la empresa tiene pérdidas económicas por el mal uso de la energía. Es conveniente considerarlo como una prioridad básica para obtener beneficios económicos y ambientales. El uso ineficiente de la energía es uno de los síntomas más encontrados en la industria mexicana.

Se sugiere el diseño de programas de seguridad industrial así como la elaboración de las hojas de operación de las máquinas y manuales de entrenamiento para el personal nuevo, para disminuir los accidentes debidos a la falta de planeación de la producción y ejecución de programas de capacitación. Es frecuente que las medianas empresas tengan en su equipo de trabajo gente formada empíricamente y que se ve reflejado en el funcionamiento inadecuado de la maquinaria.

Se recomienda un entrenamiento cruzado (cross training) para el personal que se encuentra laborando en el área productiva y evitar el paro de máquinas por ausentismo.

Las inversiones económicas que se proponen a la empresa no son considerables en función a los beneficios tanto económicos como ambientales obtenidos a corto plazo, para lo cual se propone, si la empresa no cuenta con sus recursos propios, buscar apoyos financieros para mejorar el ingreso de sus utilidades y su desempeño ambiental.

Por último queda abierta la posibilidad de continuar con la investigación, pues hay mucho que trabajar con esta empresa.

“YO MORIRÉ, PERO MI OBRA QUEDARÁ”
(ANÓNIMO)

BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, Donald **“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”**. Tercera Edición. Detroit, Michigan. 1997, pp 789.
- Bird, Byron, Stewart, Warren, and Lightfoot, Edwin N. **“Fenómenos de Transporte”**. Editorial Reverté, México D.F. 1993, pp 853.
- Cédula de Operación Anual. **“Empresa Fundidora de Aluminio a presión”**. Representante legal: Ing. David Castañeda Rosas. México D.F. 2001, pp 40.
- Centro Mexicano para la Producción más Limpia. **“Guías de producción más limpia 2. Fundición. Producción más limpia en el sector de Fundición”**. Primera edición. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 1998, pp 75.
- CRANE, **“Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”**. Primera edición. Mc. Graw-Hill, México D.F. 1992, pp 89.
- De la Garza, José María y Camiro, Ricardo. **“Estadística Nacional de la Industria de la Fundición”**. Sociedad Mexicana de fundidores A.C. México D.F. 1999, pp 174.
- Frakking, Peter . **“El Aluminio y sus Aleaciones”**. Editorial Limusa. México D.F 1992, pp 274.
- Freeman, H. **“Industrial Pollution Prevention”**. 1992, J. Air Waste Manage. Assoc.42 (5) p.p 618-656
- Geankopolis, Christie. **“Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias”**. Tercera edición. CECSA. México D.F 1998, pp 992.
- Herman, E. **“La Operación de la máquina de Fundición”**. Society of Die casting Engineers, Inc. Detroit, Michigan. 1990, pp 62.
- Hufnagel, W. **“Manual de Aluminio”**. Segunda edición. Editorial Reverté. México D.F 1992, pp 749.
- Kern, Donald. **“Procesos de Transferencia de Calor”**. CECSA. México D.F 1998, pp 980.
- Majetys Stationary Office. **“The efficient use of fuel”**. England. 1998, pp 970.
- Manual de Procedimientos ISO-9000, departamento de producción. **“Empresa Fundidora de Aluminio a Presión”**. México D.F 2001, pp 45.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). **“Iron Foundry Industry”**. Publicación para los Centros Nacionales de Producción más Limpia. México D.F 1995, pp 107.

Perry, Robert. **“Manual del Ingeniero Químico”**. Sexta edición. Mc. Graw-Hill. México D.F 1992, Sección 27.

Reid, Robert, Praunzitz, Jhon M. y Poling, Bruce. **“Properties of gasses and liquids”**. Cuarta edición. Mc. Graw-Hill. México D.F 1987, pp 741.

Rovalo, Magdalena y Alvarez, Rosario. **“Ciudades y Giros Prioritarios en Relación con la Contaminación Industrial en México”**. Instituto Nacional de Ecología y Banco Mundial. México D.F 1999, pp 144.

Skoog, Douglas y Leary, James. **“Análisis Instrumental”**. Cuarta edición. Mc. Graw-Hill. México D.F 1998, pp 935.

Smith, J. M. y Van Ness, H. C. **“Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química”**. Cuarta edición. Mc. Graw-Hill. México D.F. 1987, pp 585.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. **“Manual de Procedimientos Para el uso Eficiente de Energía en la Industria”**. Comisión de energéticos. México, D.F 1977, pp 226.

Treybal, Robert. **“Operaciones de Transferencia de Masa”**. Segunda edición. Mc. Graw-Hill. México D.F 1998, pp 858.

U.S Environmental Protection Agency. **“Guides to Pollution Prevention-Metal Casting and Heat Treating Industry”**. EPA/R-92/009.Cincinnati, Ohio. September 1992, pp 70.

ANEXO 1. Memoria de cálculo de la relación aire-combustible para combustión completa

A partir de la estequiometría para la reacción de combustión del gas L.P (propano 40%, butano 60%) tenemos la siguiente ecuación:



Base de cálculo 1 kg de combustible, por lo tanto tenemos:

0.4 kg de propano

0.6 kg de butano

Para determinar cual de los dos hidrocarburos es el reactivo limitante desarrollamos:

a)

$$\left[0.4 \text{ kg } C_3H_8 * \left[\frac{1 \text{ mol de } C_3H_8}{44 \text{ kg } C_3H_8} \right] * \left[\frac{23 \text{ mol de } O_2}{2 \text{ mol } C_3H_8} \right] \right] = 0.10 \text{ mol de } O_2$$

$$\text{b) } \left[0.6 \text{ kg } C_4H_{10} \right] * \left[\frac{1 \text{ mol } C_4H_{10}}{58 \text{ kg } C_4H_{10}} \right] * \left[\frac{23 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol } C_4H_{10}} \right] = 0.11 \text{ mol de } O_2$$

Por lo tanto el propano es el reactivo limitante:

$$0.10 \text{ mol } O_2 * \left[\frac{32 \text{ kg } O_2}{1 \text{ mol } O_2} \right] = 3.345 \text{ kg } O_2$$

partiendo de la composición del aire:

21% O₂, 79% N₂ tenemos que:

$$(100 * 3.345) / 21 = 15.93 \text{ kg de aire}$$

A partir de la ecuación para calcular la densidad de una mezcla gaseosa¹

$$\frac{1}{\rho} = \frac{X_a}{\rho_a} + \frac{X_b}{\rho_b} \quad \text{donde:}$$

ρ = Densidad de la mezcla gaseosa

ρ_a = Densidad del componente a

ρ_b = Densidad del componente b

X_a = % en peso del componente a

X_b = % en peso del componente b

Por lo cual:

$$\rho_a = 1.5226 \text{ kg/m}^3 \text{ }^2$$

$$\rho_b = 2.006 \text{ kg/m}^3 \text{ }^2$$

Por lo tanto:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0.4}{1.5226} + \frac{0.6}{2.006} = 0.5621 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 1.779 \text{ kg/m}^3$$

Sabiendo que la densidad del aire ($\rho_{\text{aire}} = 1 \text{ kg/m}^3$)

A partir de la ecuación de la densidad ($\rho = m / v$)

En donde:

m = masa del gas

v = volumen del gas

Por lo tanto, para calcular la relación aire-combustible en volumen:

¹ Reid Robert, Prausnitz Jhon, Properties of gases and liquids, 4ª. Edición, Mc Graw Hill, México 1987, p. 75

² Supra. P. 126

Para la mezcla gaseosa, $m = 1 \text{ kg}$

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \text{ kg}}{1.779 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.5621 \text{ m}^3 \text{ de gas L.P}$$

Para el aire, $m = 15.93 \text{ kg}$

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{15.93 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 15.93 \text{ m}^3 \text{ de aire}$$

Por lo tanto la relación óptima aire-combustible es:

$$15.93 \text{ m}^3 \text{ de aire} / 0.5621 \text{ m}^3 \text{ de gas} = 28.3$$

La relación sería: 28.3 partes de aire y 1 parte de combustible

ANEXO 2. Memoria de cálculo del consumo de gas L.P en la Empresa Fundidora de Aluminio

Para calcular los flujos volumétricos de gas L.P en los hornos se realizó un estudio sobre los consumos de gas L.P en la planta, para lo cual fue necesaria la siguiente información.

Capacidad total del tanque de almacenamiento de gas L.P = 5000 L

Tabla A-2.1

Día:	Tiempo	Consumo	Hornos utilizados		Flujo Volumétrico (L/h)	Consumo por horno Q = (L/h)
			Reverbero	Crisol		
Julio de 2003	(h)	(L)				
15	3.33	150	2	2	45.04	11.26
16	3.25	250	2	3	76.92	15.38
17	3.33	175	2	2	52.55	13.13
18	2.50	200	2	1	80.00	26.66
19	1.50	50	2	0	33.33	16.66
20	3.33	125	2	2	37.53	9.38
21	3.33	150	2	2	45.04	11.26
22	3.00	100	2	2	33.33	8.33
23	3.00	100	2	2	33.33	8.33
24	3.00	100	2	2	33.33	8.33
25	3.00	125	2	2	41.66	10.42
26	3.33	200	2	3	57.14	11.42

15 de julio de 2003

Lectura	14:20 horas	92% capacidad del tanque	4600 L
Lectura	17:20 horas	89% capacidad del tanque	4450 L
Tiempo	3.33 horas	Consumo	150 L

Hornos utilizados en el periodo: 2 de reverbero y 2 de crisol

Suponiendo que los hornos de reverbero y crisol consumen la misma cantidad de combustible.

Para calcular el flujo volumétrico.

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Donde:

Q = Flujo volumétrico en L/h

Vol = Volumen del gas L.P

t = Tiempo en horas

$$Q = \frac{150 \text{ L}}{3.33 \text{ h}} = 45.04 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Por lo cual el consumo por horno es:

$$Q = \frac{45.04 \text{ L/h}}{4} = 11.26 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{33.33 \text{ L/h}}{4} = 8.33 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Se calcula el índice de consumo de combustible por medio de un promedio aritmético.

$$X = \sum_n^{i=1} \frac{X_i}{n}$$

X_i = flujos volumétricos de combustible, n = número de datos

$$X = \frac{11.26 + 15.38 + 13.13 + 16.66 + 9.38 + 11.26 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 10.41 + 11.42}{11} = 11.26$$

$$X = 11.26 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

ANEXO 3. Determinación de parámetros eléctricos en motores y medición del sistema de enfriamiento de la planta.

Tabla A-3.1 Información de parámetros eléctricos de los motores involucrados en el proceso de fundición.

Mediciones en motores eléctricos															
Voltaje, Volts			Vol. Prom.	Corriente, Amperes			Potencia, kW			FP			Corriente Promedio (A)	FP	
1-N	2-N	3-N	Volts	Fase 1	Fase 2	Fase 3	1-N	2-N	3-N	1-N	2-N	3-N			
207	209	209	208.3	10.66	11.12	10.9	2.2	2.3	2.3	0.97	1.0	1.0	10.89	0.99	
209	208	208	208.3	6.54	6.16	4.94	1.36	1.28	1.02	0.901	0.85	0.68	5.88	0.807	
216	215	203	211.3	1.23	1.20	1.21	0.26	0.25	0.24	0.69	0.63	0.64	1.21	0.622	
213	213	213	213	11.52	11.42	12.43	2.45	2.43	2.64	0.412	0.40	0.44	11.79	0.421	
214	213	213	213.3	17.54	16.49	13.53	3.75	3.50	2.88	0.631	0.59	0.48	15.85	0.568	
211	211	210	210.7	11.23	12.22	11.26	2.4	2.6	2.4	0.419	0.46	0.42	11.57	0.431	

Los motores se enumeran en forma consecutiva de la siguiente manera:

- 1.- Motor del ventilador de la torre de enfriamiento TA-02. Potencia de diseño = 3.5 HP
- 2.- Motor del ventilador de aire en el horno de crisol donde se desarrolló el estudio. Potencia eléctrica de diseño = 2.0 HP.
- 3.- Motor del ventilador de aire en el horno de reverbero donde se desarrolló el estudio. Potencia eléctrica de diseño = 0.5 HP.
- 4.- Compresor CC-01 de la sección 1 de la planta. Potencia eléctrica de diseño = 8 HP.
- 5.- Compresor CC-02 de la sección 1 de la planta. Potencia eléctrica de diseño = 8 HP.
- 6.- Compresor CC-03 de la sección 2 de la planta. Potencia eléctrica de diseño = 7.5 HP

Para calcular los valores de la tabla se parte de la definición de potencia eléctrica.

$P = I * V$ en donde:

P = potencia eléctrica en Watts

I = intensidad de la corriente en Amperes

V = Diferencia de potencial en Volts

Para calcular el factor de potencia utilizamos las siguientes ecuaciones.

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{P}{V * I} \right]$$

$FP = \cos \theta$ en donde:

θ = ángulo de fase, P = potencia eléctrica

FP = factor de potencia, V*I = Potencia de diseño

Tabla A-3.2 Información de temperaturas en el sistema de enfriamiento

Torre de Enfriamiento				
Agua (°C)			Ambiente (°C)	Humedad relativa ² %
Depósito	Entrada	Salida		
Día 1				
39	45	24	28	30
39	42	25	31	26
39	40	23	30	27
35	36	22	28	30
Día 2				
31	35	23	30	27
32	38	23	32	25
33	35	21	28	30
32	35	22	29	28
Día 3				
27	28	19	29	28
28	28	19	28	30
28	28	19	28	30
28	28	19	28	30
Día 4				
27	29	18	29	28
28	28	20	30	27
27	29	20	28	30
27	29	20	28	30
Día 5				
23	26	19	28	30
24	25	20	28	30
24	26	20	28	30
25	27	20	27	33
Día 6				
25	28	22	30	27
25	28	22	30	27
26	29	24	30	27
26	30	24	30	27

² Perry, Robert H. Op. Cit Fig. 20-11

Continuación Tabla A-3.2

Torre de Enfriamiento				
Agua (°C)			Ambiente (°C)	Humedad relativa ² %
Depósito	Entrada	Salida		
Día 7				
25	28	24	29	28
26	31	23	28	30
26	27	24	26	42
25	27	27	25	45
Día 8				
24	25	21	27	33
24	26	22	27	33
25	25	22	26	42
25	25	21	26	42
Día 9				
21	26	21	26	42
21	26	21	26	42
21	25	21	24	50
21	25	21	22	61
Día 10				
20	24	24	21	63
20	23	22	20	75
21	23	22	21	63
21	23	21	20	75
Día 11				
21	28	22	20	75
20	28	21	20	75
21	28	22	21	63
21	28	21	20	75
Día 12				
25	21	21	22	61
26	21	21	26	42
26	19	20	21	63
25	19	20	21	63

Nota: Las lecturas de cada día se tomaron por hora (de 14:30 a 17:30 horas), los días 3,4,5,8,10 y 12 la máquina inyectora no estaba funcionando. En este caso hablamos de pérdidas innecesarias de costos de energía eléctrica por bombeo en la torre de enfriamiento. La temperatura de bulbo húmedo es 17 °C en la Cd. de México, para usar la carta psicrométrica.

² Perry, Robert H. Op. Cit Fig. 20-11

ANEXO 4. Memoria de cálculo de balances de materia, energía y de las oportunidades de prevención y disminución de la contaminación.

Balance de materia en el horno de crisol

A partir de la figura 3.4 se realiza el balance de materiales en el horno de crisol. De la ecuación de balance de materia para régimen estacionario se tiene:

Producto = Entradas – Salidas

Producto = (colada+refinado+fundente) – (escoria+emisiones)

$$32.18 \text{ kg} = (37 \text{ kg} + 0.514 \text{ kg} + 0.260 \text{ kg}) - (0.2745 \text{ kg} + \text{emisiones})$$

Emisiones = 5.25 kg

Balance de materia de emisiones

El lote seguido tiene un consumo de gas L.P de 6.56 L, la composición del gas es de 40% propano y 60% butano dando:

$$\text{Propano} = 2.624 \text{ L} = 0.0926 \text{ ft}^3$$

$$\text{Butano} = 3.936 \text{ L} = 0.139 \text{ ft}^3$$

Teóricamente se tienen 5.25 kg de emisiones. Considerando combustión completa

$$\text{Propano} : 0.0926 \text{ ft}^3 * \left[\frac{3 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.2778 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2$$

$$0.0926 \text{ ft}^3 * \left[\frac{4 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.3704 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$0.0926 \text{ ft}^3 * \left[\frac{18.82 \text{ ft}^3 \text{ N}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 1.7427 \text{ ft}^3 \text{ N}_2$$

Butano:

$$0.139 \text{ ft}^3 * \left[\frac{4 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.556 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2$$

$$0.139 \text{ ft}^3 * \left[\frac{5 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.695 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$0.139 \text{ ft}^3 * \left[\frac{24.47 \text{ ft}^3 \text{ N}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 3.401 \text{ ft}^3 \text{ N}_2$$

Sumando propano y butano se tiene:

$$\text{CO}_2 = 0.2778 + 0.556 = 0.8338 \text{ ft}^3 = 23.610 \text{ L}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.3704 + 0.695 = 1.065 \text{ ft}^3 = 30.157 \text{ L}$$

$$\text{N}_2 = 1.7427 + 3.401 = 5.143 \text{ ft}^3 = 145.633 \text{ L}$$

$$\text{Suma} = 7.041 \text{ ft}^3 = 199.4 \text{ L}$$

Para calcular la masa molecular de la mezcla gaseosa

$$PM = \sum_{i=1}^n X_i * PM_i$$

PM = peso molecular de la mezcla gaseosa

X_i = fracción en volumen del componente i

PM_i = masa molecular del componente i

$$PM = \frac{0.8338 \text{ ft}^3}{7.0418 \text{ ft}^3} * 44 \text{ g/gmol} + \frac{1.065 \text{ ft}^3}{7.0418 \text{ ft}^3} * 18 \text{ g/gmol} + \frac{5.143 \text{ ft}^3}{7.0418 \text{ ft}^3} * 28 \text{ g/gmol}$$

$$PM = 28.38 \text{ g/gmol}$$

Se calcula la masa de gases de combustión

Considerando gases ideales.

$$P = 0.769 \text{ atm}$$

$$T = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.15 \text{ }^{\circ}\text{K}^3$$

$$R = 0.08205 \text{ atm L / gmol }^{\circ}\text{K}$$

$$V = 199.4 \text{ L}$$

$$PV = nRT = mRT / PM$$

Despejando m se tiene:

$$m = PVPM / RT$$

$$m = \frac{0.769 \text{ atm} \cdot 199.4 \text{ L} \cdot 28.38 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}}{0.08205 \frac{\text{Latm}}{\text{mol}^{\circ}\text{K}} \cdot 313.15^{\circ}\text{K}} = 169.37 \text{ g} = 0.1694 \text{ kg}$$

Masa de la escoria.

En 5 horas se recolectaron 3 kg de escoria, por lo tanto:

$$(3 \text{ kg de escoria} \cdot 0.5833 \text{ horas}) / 5 \text{ horas} = 0.349 \text{ kg de escoria}$$

Balance de energía en el horno de crisol

1.- Cálculo del calor (Q_1) necesario para llevar el material de la temperatura ambiente a la temperatura de fusión, (los valores de C_p se pueden ver en el capítulo 3 de este trabajo):

$$Q_1 = mC_{ps}(T_2 - T_1)$$

Q_1 = Calor necesario para llevar el material a la temperatura de fusión

m = Masa de la aleación = 37 kg

C_{ps} = Capacidad calorífica del aluminio a presión constante = 0.25 cal / g $^{\circ}$ C

T_2 = Temperatura de fusión = 594 $^{\circ}$ C

T_1 = Temperatura ambiente = 25 $^{\circ}$ C

Sustituyendo valores:

³ Laboratorio KAMPE. OP. Cit.

$$Q_1 = 37 * 0.25 * (594 - 25) = 5263.25 \text{ kcal}$$

2.- Cálculo del calor (Q_2) necesario para el cambio de fase:

$$Q_2 = m \lambda$$

$$\lambda = \text{Calor latente de fusión} = 96 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_2 = 37 * 96 = 3552 \text{ kcal}$$

3.- Cálculo del calor (Q_3) para llevar el material a la temperatura de operación:

$$Q_3 = m Cpl (T_2 - T_1)$$

T_2 = Temperatura de operación del material

T_1 = Temperatura de fusión del material

$$Q_3 = 37 * 0.3119 * (650 - 594) = 646.25 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Por lo tanto el calor total es:

$$Q_{total} = 5263.25 + 3552 + 646.25 = 9461.50 \text{ kcal}$$

4.- Para calcular el poder calorífico del combustible se considera una composición del gas L.P de Propano 40% y butano 60%, se tiene:

$$\text{Propano} = 12033 \text{ kcal / kg}^4$$

$$\text{Butano} = 11837.3 \text{ kcal / kg}^4$$

$$\text{Propano} = 12033 * 0.4 = 4813.2 \text{ kcal / kg}$$

$$\text{Butano} = 11837.3 * 0.6 = 7102.38 \text{ kcal / kg}$$

$$\text{Suma} \quad \quad \quad 11915.58 \text{ kcal / kg}$$

5.- Cálculo de la densidad de la mezcla gaseosa de acuerdo a la ecuación 3.9, se tiene:

⁴ Perry, Robert H. Op. Cit. Tabla 3-207

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0.4}{507} + \frac{0.6}{580} = 1.823 \text{ E} - 3 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 548.41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.54841 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Se utilizaron las densidades (ver tabla 3.5) de la mezcla en estado líquido porque en el interior de la tubería se comporta como líquido.

$$\text{Poder calorífico del combustible} = 11915.58 \text{ kcal/kg} * 0.54841 \text{ kg/L} = \mathbf{6534.62 \text{ kcal/L}}$$

Para el gas L.P consumido en el lote de producción se tiene:

$$6534.62 \text{ kcal/L} * 6.56 \text{ L} = 42867.10 \text{ kcal proporcionadas por el combustible si se quemara el 100\%}$$

Cálculo de propiedades termodinámicas de la mezcla gaseosa

1.- Cálculo de la viscosidad

Tabla A-4.1 Propiedades de la mezcla gaseosa

Sustancia	Fracción molar	Peso molecular	Viscosidad (g/cm*s)
Propano	0.073*	44	2.7E-04
Butano	0.094*	58	4.0E-04
Oxígeno	0.833*	32	5.4E-04

* Cálculo de la fracción molar



6.53 L de combustible

Multiplicando por la densidad del líquido:

$$2.624\text{E}-03 \text{ m}^3 \text{ de propano} = 2.624 \text{ L} * 507 \text{ kg/m}^3 = 1.3303 \text{ kg}$$

$$3.936\text{E}-03 \text{ m}^3 \text{ de butano} = 3.936 \text{ L} * 580 \text{ kg/m}^3 = 2.2828 \text{ kg}$$

$$1.3303 \text{ kg de propano} * \left[\frac{1 \text{ mol de propano}}{44 \text{ kg de propano}} \right] = 0.03023 \text{ mol propano} = na$$

$$2.2828 \text{ kg de butano} * \left[\frac{1 \text{ mol de butano}}{58 \text{ kg de butano}} \right] = 0.03935 \text{ mol de butano} = n_b$$

$$1.3303 \text{ kg de propano} * \left[\frac{1 \text{ mol de propano}}{44 \text{ kg de propano}} \right] * \left[\frac{23 \text{ mol de oxígeno}}{2 \text{ mol de propano}} \right] = 0.347 \text{ mol de oxígeno} = n_c$$

De donde:

$$n_t = n_a + n_b + n_c$$

n_t = moles totales

n_a , n_b , n_c = moles de cada componente

$$n_t = 0.03023 + 0.03935 + 0.3476 = 0.4172$$

X_a , X_b , y X_c = fracción mol de cada elemento

$$X_a = \frac{n_a}{n_t}; X_b = \frac{n_b}{n_t}; X_c = \frac{n_c}{n_t}$$

$$X_a = 0.03023 / 0.4172 = 0.073$$

$$X_b = 0.03935 / 0.4172 = 0.094$$

$$X_c = 0.3476 / 0.4172 = 0.833$$

Cálculo de los coeficientes de fugacidad

Tabla A-4.2 Determinación de coeficientes de fugacidad para la mezcla gaseosa⁵

i	j	Mi/Mj	μ_i/μ_j	ϕ_{ij}	$\sum_{j=1}^3 X_j * \phi_{ij}$
1	1	1.00	1.00	1.00	0.6799
	2	0.7586	0.6750	0.9426	
	3	1.3750	0.4909	0.6223	
2	1	1.3181	1.4815	1.7584	1.1753
	2	1.00	1.00	1.00	
	3	1.8125	0.7272	1.1440	
3	1	0.7272	2.037	3.0398	1.3374
	2	0.5517	1.3750	3.0058	
	3	1.00	1.00	1.00	

Los coeficientes de fugacidad ϕ_{ij} se calculan con la ecuación 3.6 de la siguiente manera:

$$\phi_{12} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{44}{58} \right]^{-1/2} \left[1 + \left[\frac{2.7E-04}{4E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{58}{44} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 0.9426$$

$$\phi_{13} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{44}{32} \right]^{-1/2} \left[1 + \left[\frac{2.7E-04}{5.5E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{32}{44} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 0.6223$$

$$\phi_{21} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{58}{44} \right]^{-1/2} \left[1 + \left[\frac{4.0E-04}{2.7E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{44}{58} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 1.7584$$

⁵ Supra. P. 58

$$\phi_{23} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{58}{32} \right]^{-\frac{1}{2}} \left[1 + \left[\frac{4.0E-04}{5.5E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{32}{58} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 1.1440$$

$$\phi_{31} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{32}{44} \right]^{-\frac{1}{2}} \left[1 + \left[\frac{5.5E-04}{2.7E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{44}{32} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 3.0398$$

$$\phi_{32} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[1 + \frac{32}{58} \right]^{-\frac{1}{2}} \left[1 + \left[\frac{5.5E-04}{4E-04} \right] \frac{1}{2} \left[\frac{58}{58} \right] \frac{1}{4} \right]^2 = 3.0058$$

Según la ecuación 3.5 se tiene sustituyendo valores:

$$\mu = \frac{0.073 * 2.7E-04}{0.6799} + \frac{0.094 * 4.0E-04}{1.1753} + \frac{0.833 * 5.5E-04}{1.3374} = 4.0354E-04 \text{ g/cm s}$$

Calcular la conductividad térmica

Tabla A-4.3 Determinación de la conductividad térmica de la mezcla gaseosa⁶

Componente i	Fracción molar	Peso molecular	$\mu_i E + 7 \text{ g/(cm s)}$	KiE+5 (cal/cm s °K)
Propano	0.073	44	2700	3.5987
Butano	0.094	58	4000	3.2264
Oxígeno	0.833	32	5500	7.6225

Para calcular la conductividad térmica de la mezcla gaseosa se utiliza la ecuación 3.7. Los coeficientes de fugacidad son los mismos que para la viscosidad de la mezcla gaseosa.

$$k = \frac{0.073 * 3.5987E-05}{0.6799} + \frac{0.094 * 3.2264E-05}{1.1753} + \frac{0.833 * 7.6525E-05}{1.3374} = 5.4107E-05 \text{ cal/cm s °K}$$

⁶ Supra p.61

Cálculo de la densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla se calcula utilizando la ecuación 3.9, sustituyendo valores se tiene el siguiente resultado:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0.073}{1.52} + \frac{0.094}{2} + \frac{0.833}{1.3310} = 0.720 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 1.387 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo del Cp de la mezcla

$$C_p = 0.073 \cdot 0.88 + 0.094 \cdot 0.86 + 0.833 \cdot 0.32 = 0.412 \text{ BTU / Lb}^\circ\text{F}$$

Cálculo del flujo de gas a partir del balance de energía

11.26 L/h es el consumo teórico de gas y el flujo de aire es 315.28 L/h = 8.76E-05 m³/s

A partir de la ecuación de continuidad $Q = VA$

$$D = 45 \text{ cm}$$

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$A = \pi 0.45^2 / 4 = 0.159 \text{ m}^2$$

En donde:

$$V = Q/A = 8.76\text{E-}05/0.159 = 5.50\text{E-}04 \text{ m/s}$$

Cálculo de hm

Usando el número de Reynolds ecuación 3.3 y sustituyendo valores:

$$Re = 0.45 \cdot 5.5\text{E-}04 \cdot 1.387 / 4.035\text{E-}05 = 8.5067$$

Encontrado el número de Reynolds y haciendo uso de un nomograma se encuentra el valor de jH igual a 0.055

Sustituyendo valores en la ecuación 3.2

$$0.055 = \frac{hm}{0.0865 * 0.412 * 0.01804} * \left[\frac{0.412 * 2.71E-05}{3.6333E-06} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Despejando hm se tiene:

$$hm = 1.6787E-05 \text{ BTU/ft}^2\text{s}^\circ\text{F} = 80.31 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

valor recomendado bibliográficamente (10-100 kcal/m²h°C)⁷ para convección forzada obtuvimos, hm = 80.31 kcal/m²h°C

Cálculo de Qo

El cálculo se realiza de acuerdo a la ecuación 3.1

$$hm = 80 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} = 8.1724E-06 \text{ cal/cm}^2\text{s}^\circ\text{K}$$

$$T_4 = 150 \text{ }^\circ\text{C} = 423 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_a = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$L = 0.77 \text{ cm}$$

$$r = 24 \text{ cm}$$

$$r_0 = 62 \text{ cm}$$

$$r_1 = 68.15 \text{ cm}$$

$$r_2 = 77.15 \text{ cm}$$

$$r_3 = 77.8 \text{ cm}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{2\pi * 77 * (1473 - 423)}{\frac{1}{24 * 8.1724E-06} + \frac{\ln(68.15/62)}{3.6E-04} + \frac{\ln(77.15/68.15)}{2.4E-03} + \frac{\ln(77.8/77.15)}{0.1034}} = 93.84 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 93.84 \text{ cal/s} * 3600 * 0.5833/1000 = 197.052 \text{ kcal}$$

⁷ Bird, Byron. Op. Cit. Table 13.1-1

Pérdidas de calor en el refractario superior del crisol

El cálculo se realiza a partir de la ecuación 3.10

$$T_5 = 583 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_a = 1473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$r_2 \text{ y } r_0 = 77.15 \text{ cm, } 62 \text{ cm}$$

$$z_2 \text{ y } z_1 = 8 \text{ cm, } 0 \text{ cm}$$

$$hm = 8.1724E-06 \text{ cal/cm}^2\text{s}^\circ\text{K}$$

$$k = 1.6546E-03 \text{ cal/cms}^\circ\text{K}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$Q_z = \frac{(1473 - 583) * \pi * (77.15^2 - 62^2)}{\frac{1}{8.1724E - 06} + \frac{(8 - 0)}{1.6546E - 03}}$$

$$Q_z = 46.33 \text{ cal/s} * 0.5833 \text{ h} * 3600/1000 = 97.28 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor por orificios en el horno de crisol

Para realizar el cálculo se utiliza la ecuación 3.11

$$\text{Área 1} = 8.8E-03 \text{ m}^2$$

$$\text{Área 2} = 0.03 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación 3.11 y sustituyendo valores se tiene:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann, } 4.878E-08 \text{ kcal/hm}^2\text{oK}$$

$$A = 0.0388 \text{ m}^2$$

$$T = 1473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$e = 1, \text{ cuerpo negro}$$

$$Q = 4.878E-08 * 1 * 0.0388 \text{ m}^2 * 1473^4 = 8910.13 \text{ kcal/h}$$

$$Q = 8910.13 \text{ kcal/h} * 0.5833 \text{ h} = \mathbf{5196 \text{ kcal}}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en la superficie del crisol

Para realizar el cálculo usamos la ecuación 3.11 y sustituyendo valores se tiene:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann, } 4.878E-08 \text{ kcal/hm}^2\text{°K}$$

$$A = 0.1590 \text{ m}^2$$

$$T = 923 \text{ °K}$$

$$e = 0.11, \text{ para el aluminio}^8$$

$$Q = 4.878E-08 * 0.11 * 0.1590 \text{ m}^2 * 923^4 = 619.37 \text{ kcal/h} * 0.5833 \text{ h} = \mathbf{361.28 \text{ kcal}}$$

Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en la chimenea del horno

Para realizar el cálculo se utiliza la ecuación 3.11 y sustituyendo valores se tiene:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann, } 4.878E-08 \text{ kcal/hm}^2\text{°K}$$

$$A = 0.0276 \text{ m}^2$$

$$T = 1473 \text{ °K}$$

$$e = 1, \text{ cuerpo negro}$$

$$Q = 4.878E-08 * 1 * 0.0276 \text{ m}^2 * 1473^4 = 6338.14 \text{ kcal/h} * 0.5833 \text{ h} = \mathbf{3697.03 \text{ kcal}}$$

Cálculo de las pérdidas totales de calor

Calor necesario para llevar el material a la temperatura de operación

$$\mathbf{9641.25 \text{ kcal}}$$

Pérdidas de calor por paredes laterales del horno Q_o .

$$\mathbf{197.52 \text{ kcal}}$$

⁸ Bird. OP. Cit. Tabla 14.2-1

Pérdidas de calor por ladrillo refractario Q_z .

97.28 kcal

Calor perdido en los orificios por radiación

5196 kcal

Calor perdido en la superficie del crisol

361.28 kcal

Calor perdido por radiación en la chimenea

3697 kcal

Calor total que se pierde Q_t

19010.33 kcal

Calor proporcionado por el combustible Q_c

42867.10 kcal

$Q_c - Q_t = 42867.10 - 19010.33 = \mathbf{23856.77 \text{ kcal}}$

El consumo de gas L.P es $Q_c/Q_t = 42867.10/19010.33 = 2.25$ veces más que el requerido.

Cantidad del gas L.P gastada en exceso:

$L_{\text{gas}} - (L_{\text{gas}}/\text{veces}) = 6.56 - (6.56/2.25) = 3.64 \text{ L de gas en exceso}$

Por lo cual la eficiencia de la reacción de combustión es:

$\% \text{ eficiencia} = (19010.33 \text{ kcal} * 100\%) / (42867.10 \text{ kcal}) = \mathbf{44.34 \%}$

Balance de materia en el horno de reverbero

A partir de la figura 3.7 se realiza el balance de materiales en el horno de reverbero. De la ecuación de balance de materia para régimen estacionario se tiene:

Producto = Entradas – Salidas

Producto = (colada+refinado+fundente) – (escoria+emisiones)

23.8 kg = (27 kg + 0.500 kg + 0.260 kg) – (0.717 kg + emisiones)

Emisiones = 3.24 kg

Balance de materia de emisiones

El lote seguido tiene un consumo de gas L.P de 8.07 L, la composición del gas es de 40% propano y 60% butano dando:

Propano = 3.228 L = 0.1140 ft³

Butano = 4.842 L = 0.1709 ft³

Teóricamente se tienen 3.24 kg de emisiones. Considerando combustión completa

$$\text{Propano} : 0.1140 \text{ ft}^3 * \left[\frac{3 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.342 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2$$

$$0.1140 \text{ ft}^3 * \left[\frac{4 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.456 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$0.1140 \text{ ft}^3 * \left[\frac{18.82 \text{ ft}^3 \text{ N}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 2.146 \text{ ft}^3 \text{ N}_2$$

Butano:

$$0.1709 \text{ ft}^3 * \left[\frac{4 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.684 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2$$

$$0.1709 \text{ ft}^3 * \left[\frac{5 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 0.855 \text{ ft}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$0.1709 \text{ ft}^3 * \left[\frac{24.47 \text{ ft}^3 \text{ N}_2}{1 \text{ ft}^3 \text{ combustible}} \right] = 4.182 \text{ ft}^3 \text{ N}_2$$

Sumando propano y butano se tiene:

$$\text{CO}_2 = 0.342 + 0.684 = 1.026 \text{ ft}^3 = 29.05 \text{ L}$$

$$(\text{H}_2\text{O})_v = 0.456 + 0.855 = 1.311 \text{ ft}^3 = 37.12 \text{ L}$$

$$\text{N}_2 = 2.146 + 4.182 = 6.328 \text{ ft}^3 = 179.18 \text{ L}$$

$$\text{Suma} = 8.665 \text{ ft}^3 = 245.3 \text{ L}$$

Para calcular la masa molecular de la mezcla gaseosa

$$PM = \sum_{i=1}^n X_i * PM_i$$

PM = peso molecular de la mezcla gaseosa

X_i = fracción en volumen del componente i

PM_i = peso molecular del componente i

$$PM = \frac{1.026 \text{ ft}^3}{8.665 \text{ ft}^3} * 44 \text{ g/gmol} + \frac{1.311 \text{ ft}^3}{8.665 \text{ ft}^3} * 18 \text{ g/gmol} + \frac{6.328 \text{ ft}^3}{8.665 \text{ ft}^3} * 28 \text{ g/gmol}$$

$$PM = 28.37 \text{ g/gmol}$$

Cálculo de la masa de gases de combustión

Considerando gases ideales.

$$P = 0.769 \text{ atm}$$

$$T = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 313.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$R = 0.08205 \text{ atm L / gmol }^\circ\text{K}$$

$$V = 245.3 \text{ L}$$

$$PV = nRT = mRT / PM$$

Despejando m se tiene:

$$m = PVPM / RT$$

$$m = \frac{0.769 \text{ atm} * 245.3 \text{ L} * 28.37 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}}{0.08205 \frac{\text{Latm}}{\text{mol}^\circ\text{K}} * 313.15^\circ\text{K}} = 212.3\text{g} = 0.2123\text{kg}$$

Masa de la escoria.

En 8 horas se recolectaron 8 kg de escoria, por lo tanto:

$$\text{Escoria} = (0.717 \text{ horas} * 8 \text{ kg de escoria}) / (8 \text{ horas}) = \mathbf{0.717 \text{ kg de escoria}}$$

Balance de energía en el horno de reverbero

1.- Cálculo del calor (Q_1) necesario para llevar el material de la temperatura ambiente a la temperatura de fusión, (los valores de C_p se pueden ver en el capítulo 3 de este trabajo):

$$Q_1 = mC_{ps}(T_2 - T_1)$$

Q_1 = Calor necesario para llevar el material a la temperatura de fusión

m = Masa de la aleación = 27 kg

C_{ps} = Capacidad calorífica del aluminio a presión constante = 0.25 cal / g $^\circ$ C

T_2 = Temperatura de fusión = 594 $^\circ$ C

$T_1 = \text{Temperatura ambiente} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Sustituyendo valores:

$$Q_1 = 27 * 0.25 * (594 - 30) = 3807 \text{ kcal}$$

2.- Cálculo del calor (Q_2) necesario para el cambio de fase:

$$Q_2 = m \lambda$$

$$\lambda = \text{Calor latente de fusión} = 96 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_2 = 27 * 96 = 2592 \text{ kcal}$$

3.- Cálculo del calor (Q_3) para llevar el material a la temperatura de operación:

$$Q_3 = mCpl(T_2 - T_1)$$

$T_2 = \text{Temperatura de operación del material}$

$T_1 = \text{Temperatura de fusión del material}$

$$Q_3 = 27 * 0.3119 * (650 - 594) = 471.6 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Por lo tanto el calor total es:

$$Q_{total} = 3807 + 2592 + 471.6 = 6870.6 \text{ kcal}$$

Poder calorífico del combustible = **6534.62 kcal/L**

Para el gas L.P consumido en el lote de producción se tiene:

6534.62 kcal/L * 8.07 L = 52734.38 kcal proporcionadas por el combustible si se quemara el 100%

Cálculo de las pérdidas de calor en la sección I del horno de reverbero
Cálculo en las paredes laterales de la sección I
Para la zona a (ver figura 3.9) se utiliza la ecuación

$$Q_o = \frac{(T_a - T_1) A}{\frac{1}{hm} + \sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 2880 \text{ cm}^2$$

$$T_a = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 443 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$hm = 8.172\text{E-}06 \text{ cal/cm}^2\text{s}^\circ\text{K}$$

$$x_i = 9, 10 \text{ y } 0.635 \text{ cm}$$

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms $^\circ$ K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(1473 - 443) * 2880}{\frac{1}{8.1724\text{E} - 06} + \frac{9}{2.4\text{E} - 03} + \frac{10}{3.6\text{E} - 04} + \frac{0.635}{0.1034}} = 19.27 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 19.27 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal} / 1000 \text{ cal} = 49.75 * 2 = 99.50 \text{ kcal}$$

Para la zona b (ver figura 3.9) se utiliza la ecuación 3.13

$$Q_o = \frac{(T_2 - T_3) A}{\sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 1020 \text{ cm}^2$$

$$T_2 = 923 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_3 = 418 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$x_i = 9, 10 \text{ y } 0.635 \text{ cm}$$

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms^oK

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(923 - 418) * 1020}{\frac{9}{2.4E - 03} + \frac{10}{3.6E - 06} + \frac{0.635}{0.1034}} = 16.33 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 16.33 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal} / 1000 \text{ cal} = 42.16 * 2 = 84.32 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa superior del horno de reverbero

Para calcular las pérdidas de calor se utiliza la ecuación 3.12, con la geometría mostrada en la fig. 3.10:

$$Q_o = \frac{(T_a - T_1) A}{\frac{1}{hm} + \sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 4860 \text{ cm}^2$$

$$T_a = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 443 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$hm = 8.172E-06 \text{ cal/cm}^2\text{s}^\circ\text{K}$$

$x_i = 9, 10$ y 0.635 cm

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms⁰K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(1473 - 443) * 4860}{\frac{1}{8.1724E - 06} + \frac{9}{2.4E - 03} + \frac{10}{3.6E - 04} + \frac{0.635}{0.1034}} = 32.526 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 32.526 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal} / 1000 \text{ cal} = 83.95 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa inferior del horno de reverbero

Se utiliza la misma geometría, materiales y espesores de la fig. 3.10, lo único que cambia es el perfil de temperaturas. Para este cálculo se utiliza la ecuación 3.13

$$Q_o = \frac{(T_a - T_1) A}{\frac{1}{hm} + \sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 4860 \text{ cm}^2$$

$$T_a = 1473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 418 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$hm = 8.172E-06 \text{ cal/cm}^2\text{s}^\circ\text{K}$$

$x_i = 9, 10$ y 0.635 cm

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms⁰K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(1473 - 418) * 4860}{\frac{1}{8.1724E - 06} + \frac{9}{2.4E - 03} + \frac{10}{3.6E - 04} + \frac{0.635}{0.1034} + \frac{17}{0.247}} = 33.30 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 33.30 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal/1000 cal} = 89.95 \text{ kcal}$$

Para este cálculo se utiliza la conductividad térmica del aluminio a 700 °C, cuyo valor es:

$$K = 0.247 \text{ cal/scm}^\circ\text{C}^9$$

Cálculo de las pérdidas de calor en la tapa del horno de reverbero

Para calcular las pérdidas de calor se utiliza la ecuación 3.12, con la geometría mostrada en la figura 3.11:

$$Q_o = \frac{(T_a - T_1) A}{\frac{1}{hm} + \sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 5265 \text{ cm}^2$$

$$T_a = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 483 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$hm = 8.172\text{E-}06 \text{ cal/cm}^2\text{*s*}^\circ\text{K}$$

$$x_i = 9, 10 \text{ y } 0.635 \text{ cm}$$

$$k_i = \text{Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cm*s*}^\circ\text{K}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$Q_o = \frac{(1473 - 483) * 5265}{\frac{1}{8.1724\text{E-}06} + \frac{9}{2.4\text{E-}03} + \frac{10}{3.6\text{E-}04} + \frac{0.635}{0.1034}} = 33.869 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 33.869 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal/1000 cal} = 87.42 \text{ kcal}$$

⁹ Bird. Op. Cit. Tabla 8.1-3

Cálculo de las pérdidas de calor en la sección II del horno de reverbero Cálculo de las pérdidas de calor en el domo superior del reverbero

Para calcular las pérdidas de calor en el domo superior del reverbero se usa la ecuación 3.14:

$$Q_o = \frac{1.5065 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_a - T_4)}{\frac{1}{r_0 \cdot hm} + \frac{\ln(r_1/r_0)}{k_{01}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{23}}}$$

En donde:

$Q_o =$ Flujo de calor por unidad de tiempo

T_a y $T_4 = 1473$ °K, 523 °K

$L = 92$ cm

r_0, r_1, r_2 y $r_3 = 32.826, 41.865, 51.865$ y 52.5 cm respectivamente

k_{01}, k_{12} y $k_{13} =$ conductividades térmicas de la arcilla refractaria, asbesto y del hierro forjado respectivamente.

$hm = 8.1724E-06$ cal/cm²s°K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{1.5065 \cdot \pi \cdot 92 \cdot (1473 - 523)}{\frac{1}{32.865 \cdot 8.1724E-06} + \frac{\ln(41.865/32.865)}{2.4E-03} + \frac{\ln(51.865/41.865)}{3.6E-04} + \frac{\ln(52.5/51.865)}{0.1034}}$$

$$Q_o = 93.60 \text{ kcal/s} \cdot 0.717 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s} \cdot \text{kcal}/1000 \text{ cal} = 241.60 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en el domo inferior del horno de reverbero

El cálculo de las pérdidas de calor en el domo inferior del reverbero se realiza mediante la ecuación 3.15:

$$Q_o = \frac{0.4934 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_4)}{\frac{\ln(r_1/r_0)}{k_{01}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{23}}}$$

En donde:

$Q_0 =$ Flujo de calor por unidad de tiempo

T_1 y $T_4 = 923$ °K, 523 °K

$L = 92$ cm

r_0, r_1, r_2 y $r_3 = 32.826, 41.865, 51.865$ y 52.5 cm respectivamente

k_{01}, k_{12} y $k_{13} =$ conductividades térmicas de la arcilla refractaria, asbesto y del hierro forjado respectivamente.

$hm = 8.1724E-06$ cal/cm²s°K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_0 = \frac{0.4934 * \pi * 92 * (923 - 523)}{\frac{\ln(41.865/32.865)}{2.4E-03} + \frac{\ln(51.865/41.865)}{3.6E-04} + \frac{\ln(52.5/51.865)}{0.1034}}$$

$$Q_0 = 81.962 \text{ kcal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * \text{kcal/1000cal} = 211.562 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en la sección III del horno de reverbero **Cálculo de las pérdidas de calor en la pared frontal del reverbero**

Usando la ecuación 3.13

$$Q_0 = \frac{(T_2 - T_3) A}{\sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$A = 1080$ cm²

$T_2 = 923$ °K

$T_3 = 483$ °K

$x_i = 9, 10$ y 0.635 cm

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms°K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(923 - 483) * 1410}{\frac{9}{2.4E - 03} + \frac{10}{3.6E - 04} + \frac{0.635}{0.1034}} = 19.694 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 19.694 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal} / 1000 \text{ cal} = 50.782 * 2 = 101.565 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor en el fondo del reverbero

Usando la ecuación 3.13:

$$Q_o = \frac{(T_2 - T_3) A}{\sum_{i=1}^3 \frac{x_i - x_{i-1}}{k_{i-1,i}}}$$

En donde:

$$A = 1692 \text{ cm}^2$$

$$T_2 = 923 \text{ °K}$$

$$T_3 = 483 \text{ °K}$$

$$x_i = 9, 10 \text{ y } 0.635 \text{ cm}$$

k_i = Conductividad térmica de los materiales de la pared en cal/cms°K

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q_o = \frac{(923 - 483) * 1692}{\frac{9}{2.4E - 03} + \frac{10}{3.6E - 04} + \frac{0.635}{0.1034}} = 23.608 \text{ cal/s}$$

$$Q_o = 23.608 \text{ cal/s} * 0.717 \text{ h} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kcal} / 1000 \text{ cal} = 60.936 \text{ kcal}$$

**Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en el horno de reverbero
Cálculo de pérdidas por radiación en la sección III (entre la cámara de
combustión y el reverbero).**

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann:

$$Q = \sigma \cdot e \cdot A \cdot T^4$$

en donde:

$\sigma =$ Constante de Boltzmann

Q = Cantidad de calor por radiación por unidad de tiempo

$$A = 0.019 \text{ m}^2$$

$$T = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$e = 1$$

En donde 0.717 horas es el tiempo que duró el estudio.

Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en la superficie del reverbero

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann:

en donde:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann} = 4.878 \cdot 10^{-08} \text{ kcal/hm}^2\text{oK}$$

Q = Cantidad de calor por radiación por unidad de tiempo

$$A = 0.1692 \text{ m}^2$$

$$T = 923 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$e = 0.11$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q = 4.878E - 08 * 0.11 * 0.1692 * 923^4 * 0.717 = 472.45 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en la chimenea del horno

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann:

en donde:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann} = 4.878 \cdot 10^{-08} \text{ kcal/hm}^2\text{oK}$$

Q = Cantidad de calor por radiación por unidad de tiempo

$$A = 0.14 \text{ m}^2$$

$$T = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$e = 1$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q = 4.878E - 08 * 1 * 0.14 * 1473^4 * 0.717 = 10138.15 \text{ kcal}$$

Cálculo de las pérdidas de calor por radiación en los orificios de la tapa del horno de reverbero

El cálculo se realiza a partir de la ley de Stefan Boltzmann:

en donde:

$$\sigma = \text{Constante de Boltzmann} = 4.878 \cdot 10^{-08} \text{ kcal/hm}^2\text{oK}$$

Q = Cantidad de calor por radiación por unidad de tiempo

$$A = 0.01 \text{ m}^2$$

$$T = 1473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$e = 1$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q = 4.878E - 08 * 1 * 0.01 * 1473^4 * 0.717 = 1646.53 \text{ kcal}$$

Pérdida total de calor.

Calor necesario para llevar el material a la temperatura de operación

6870.6 kcal

Suma de las pérdidas de calor por el diseño del horno Q

1095.7 kcal

Calor perdido por radiación en la chimenea

10138.59 kcal

Calor total perdido por radiación Q

5248.49 kcal

Calor total Q_t

23353.38 kcal

Calor proporcionado por el combustible Q_c

52734.28 kcal

$Q_c - Q_t = 52734.28 - 23353.38 = \mathbf{29380.9 \text{ kcal}}$

El consumo de gas L.P es $Q_c/Q_t = 52734.28/23353.38 = \mathbf{2.26}$ veces más que el requerido.

Cantidad de gas L.P gastada en exceso:

$L_{\text{gas}} - (L_{\text{gas}}/\text{veces}) = 8.07 - (8.07/2.26) = 4.49 \text{ L de gas en exceso}$

Por lo cual la eficiencia de la reacción sería:

$\% \text{ eficiencia} = (23353.38 \text{ kcal} * 100 \%) / (52734.28 \text{ kcal}) = \mathbf{44.28 \%}$

Oportunidades de prevención de la contaminación**Oportunidad 1.**

Esta oportunidad genera ahorros significativos con una inversión mínima.

Por los orificios del horno de crisol se pierden en total 5196 kcal, para convertirlo a litros de gas se plantea la siguiente relación:

$$(5196 \text{ kcal} * 6.56 \text{ L de gas}) / (42867.10 \text{ kcal}) = \mathbf{0.795 \text{ L de gas en 35 minutos}}$$

Por lo tanto en una hora se pierden 1.36 L de gas L.P, la planta opera 317 días y tres turnos por lo cual:

$$1.36L * \frac{24\text{horas}}{1\text{día}} * \frac{317\text{días}}{1\text{año}} = 10346.88 \text{ L gas L.P/año}$$

Conociendo que el precio del gas L.P es \$3.45/L se tiene que:

10346.88 L/año * \$3.45/L = \$ 35696.73/año, que representaría el ahorro anual generado por esta oportunidad.

Para evaluar los beneficios ambientales de esta oportunidad se parte del cálculo de los balances de materia sobre emisiones en donde:

6.56 L de gas L.P generan 0.1694 kg de gases de combustión en 35 minutos, por lo tanto en 60 minutos se generan 0.2904 kg, la planta opera 317 días al año y tres turnos por lo cual se plantea la siguiente relación:

$$(10346.88 \text{ L de gas} * 0.1694 \text{ kg de gases de combustión}) / (6.56 \text{ L de gas}) = \mathbf{267.19 \text{ kg de gases de combustión}}$$

La ventaja ambiental es considerable. Para calcular el periodo de recuperación de la inversión se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$500.00}{\$35696.73} = 0.014 \text{ años} = 5 \text{ días aproximadamente}$$

Oportunidad 4

Por la combustión incompleta se dejan de aprovechar 23856.77 kcal, en 35 minutos, para calcular la energía perdida por año se tiene:

$$23856.77 \text{ kcal} * \frac{60 \text{ min} * 24 \text{ horas} * 317 \text{ días}}{35 \text{ minutos} * 1 \text{ hora} * 1 \text{ día} * 1 \text{ año}} = 311146810.6 \text{ kcal/año, por lo tanto}$$

$$(311146810.6 \text{ kcal} * 6.56 \text{ L de gas}) / (42867.10 \text{ kcal}) = \mathbf{47615.14 \text{ L de gas al año}}$$

Lo que representan 47615.14 l de gas /año * \$ 3.45/L gas = \$164272.23/año

(47615.14 L de gas * 0.1694 kg de gases de combustión) / (6.56 L de gas) =
1229.57 kg de gases de combustión

La ventaja ambiental es considerable. Para calcular el periodo de recuperación de la inversión se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$97251.7}{\$164272.23} = 0.59 \text{ años} = 216 \text{ días aproximadamente}$$

Oportunidad 5

Por la combustión incompleta se dejan de aprovechar 29380.9 kcal, en 43 minutos, para calcular la energía perdida por año se tiene:

$$29380.9 \text{ kcal} * \frac{60 \text{ min} * 24 \text{ horas} * 317 \text{ días}}{43 \text{ minutos} * 1 \text{ hora} * 1 \text{ día} * \text{ año}} = 311902168.2 \text{ kcal/año, por lo tanto}$$

(311902168.2 kcal * 6.56 L de gas) / (42867.10 kcal) = **47730.74 L de gas al año**

Lo que representan 47730.74 L de gas /año * \$ 3.45/L gas = \$164671.04/año

(47730.74 L de gas * 0.2123 kg de gases de combustión) / (6.56 L de gas) =
1544.70 kg de gases de combustión

Para calcular el periodo de recuperación de la inversión se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$105857}{\$164671.04} = 0.64 \text{ años} = 234 \text{ días aproximadamente}$$

Oportunidad 7

Esta oportunidad representa un costo mínimo para la empresa, sin embargo los beneficios en calidad de producto terminado y limpieza del caldo justifican el gasto:

- a) Para el horno de crisol.- se funden 37 kg en 35 minutos, por lo cual en un turno de 8 horas se funden 507.42 kg, para lo que serían necesarios según la formulación del proveedor 1.014 kg de fundente.
- b) Para el horno de reverbero.- se funden 27 kg en 43 minutos, por lo cual en un turno de 8 horas se funden 301.39 kg para lo cual serían necesarios según la formulación del proveedor 0.602 kg de fundente.

Si el costo del fundente es \$ 7.42/kg y se necesitarían 0.616 kg de más por turno de 8 horas en un día serían 1.848 kg y en un año 585.81 kg por lo que el costo adicional sería de \$4346.71/año.

Oportunidad 9

Por los orificios en el horno de reverbero se dejan de aprovechar 1646.53 kcal, en 43 minutos, para calcular la energía perdida por año se tiene:

$$1646.53 \text{ kcal} * \frac{60 \text{ min} * 24 \text{ horas} * 317 \text{ días}}{43 \text{ minutos} * 1 \text{ hora} * 1 \text{ día} * \text{ año}} = 17479256.15 \text{ kcal / año, por lo tanto}$$

$$(17479256.15 \text{ kcal} * 6.56 \text{ L de gas}) / (42867.10 \text{ kcal}) = \mathbf{2674.87 \text{ L de gas al año}}$$

Lo que representan 2674.87 L de gas /año * \$ 3.45/L gas = \$9228.30/año

$$(2674.87 \text{ L de gas} * 0.2123 \text{ kg de gases de combustión}) / (6.56 \text{ L de gas}) = \mathbf{86.56 \text{ kg de gases de combustión}}$$

Para calcular el periodo de recuperación de la inversión se tiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$2000}{\$9228.30} = 0.22 \text{ años} = 79 \text{ días aproximadamente}$$

Oportunidad 10

1.- Cálculo del calor (Q_1) necesario para llevar el material de la temperatura ambiente a la temperatura de fusión se tiene:

Q_1 = Calor necesario para llevar el material a la temperatura de fusión

m = masa reciclado, en ambas máquinas al año = 5390.81 kg

Cps = Capacidad calorífica del aluminio a presión constante = 0.25 cal/g°C

T_2 = Temperatura de fusión = 594 °C

T_1 = Temperatura ambiente = 25 °C

$$Q_1 = mCps(T_2 - T_1) = 5390.81 * 0.25 * (594 - 25) = 766842.72 \text{ kcal}$$

2.- Cálculo del calor (Q_2) necesario para el cambio de fase:

$$\lambda = \text{calor latente de fusión} = 96 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_2 = m * \lambda = 5390.81 * 96 = 517517.76 \text{ kcal}$$

3.- Cálculo del calor (Q_3) para llevar el material a la temperatura de operación:

$$Q_3 = m * Cpl * (T_2 - T_1) = 5390.81 * 0.3119 * (650 - 594) = 94138.04 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 76684.2 + 517517.76 + 94138.041 = 1378518.5 \text{ kcal}$$

Por los orificios en el horno de reverbero se dejan de aprovechar 1378518.5 kcal/año.

$$(1378518.5 \text{ kcal} * 6.56 \text{ L de gas}) / (42867.10 \text{ kcal}) = \mathbf{210.95 \text{ L de gas al año}}$$

$$\text{Lo que representan } 210.95 \text{ L de gas/año} * \$ 3.45/\text{L gas} = \$727.78/\text{año}$$

$$(210.95 \text{ L de gas} * 0.1694 \text{ kg de gases de combustión}) / (6.56 \text{ L de gas}) = \mathbf{5.44 \text{ kg de gases de combustión}}$$

Oportunidad 11

Esta oportunidad genera beneficios económicos, ver anexo 3 para factores de potencia en algunos equipos.

Los factores de potencia en la mayoría de los equipos es muy baja.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$12578.7}{\$54910.2} = 0.229 \text{ años} = 84 \text{ días aproximadamente}$$

Oportunidad 12

Para el horno de crisol se necesitan según la producción diaria un horno de una capacidad de 1522.3 kg/día con una inversión de \$ 247622.70.

Para el horno de reverbero se necesita según la producción diaria un horno de una capacidad de 904 kg/día con una inversión de \$ 158136.11.

En ambos hornos según los balances de masa se consumen 171014.69 L/año, lo que representa a un costo de combustible de \$ 3.45 un total de ahorro de \$ 590000.81/año, por el no uso de gas L.P.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros generados}} = \frac{\$405758.81}{\$590000.81} = 0.68 \text{ años} = 251 \text{ días aproximadamente}$$

$$(171014.69 \text{ L de gas} * 0.1694 \text{ kg de gases de combustión}) / (6.56 \text{ L de gas}) =$$

4416.14 kg degases de combustión

ANEXO 5. Hojas Técnicas de materias primas

Tabla A-5.1 Hoja Técnica de LADEX 44-F-80N¹⁰

Descripción	Desmoldante líquido para la fundición a presión de aluminio y sus aleaciones
Forma	Líquido acuoso
Especificaciones	PH = 7.5-8.5 Índice de refracción = 21-23 Peso específico = 0.990-1.050 Cenizas = 3% máximo 1 hora a 300°C
Presentación	Tambores de 200 kg
Almacenaje	Consérvese en lugares secos y bajo techo, manténgase en su envase herméticamente cerrado al no utilizarse
Precauciones	No tóxico, el manejo y uso de este producto no implica ningún riesgo sanitario
Contacto con los ojos	No hay riesgo alguno, en su uso industrial normal, lavar abundantemente con agua
Contacto con la piel	No provoca irritación ni malestar alguno
Inhalación	No hay riesgo alguno a temperatura ambiente, no representa riesgo alguno los olores que se desprenden de su uso
Protección personal	La mínima que se requiere a nivel industrial
Modo de empleo	El producto LA-DEX-44-F-80N, se ha diseñado para trabajar diluido. Se puede aumentar su proporción de dilución según se observe su funcionamiento en el taller de fundición. Una vez que se ha diluido en agua el producto se aplica directamente al molde por aspersion con lo que se logra una película uniforme, el producto que no tiene olores, no es irritante y no corroe o decolora la parte moldeada, el molde o la pieza fabricada
Recomendaciones	1 parte de producto * 20 de agua, para piezas complicadas 1 parte de producto * 30 agua, para piezas regulares 1 parte de producto * 40 agua, para piezas simples 1 parte de producto * 60 agua, para piezas más simples

¹⁰ Productos y Desarrollos Industriales S.A. de C.V.

Tabla A-5.2 Especificaciones técnicas para las aleaciones metálicas usadas en el proceso de fundición.¹¹

Aleación	380(%)	413(%)	ZAMAC
Al	Resto	Resto	3.9-4.3
Cd	0	0	0.004 máximo
Cu	3.0-4.0	0.4 máximo	0.75-1.25
Fe	1.3 máximo	0.7-1.1	0.075 máximo
Mg	0.10 máximo	0.10 máximo	0.03-0.06
Mn	0.50 máximo	0.25 máximo	0
Ni	0.50 máximo	0.25 máximo	0
Pb	0	0	0.004 máximo
Si	7.5-9.5	11.0-13.0	0
Sn	0	0.15 máximo	0.002 máximo
Sb	0	0	0
Zn	2.5 máximo	0.35 máximo	Resto

¹¹ Empresa Mexicana De Fundición de Aluminio a Presión S.A. de C.V.

Tabla A-5.3 Especificaciones del fundente para aluminio FLUX 431 V¹²

Apariencia	Granulado rosa
Humedad %	0.5 máximo
Densidad aparente	1.3-1.5
Sólidos insolubles %	30-40
pH (soln. Al 10%)	8.5-10.5
Cloruros %	17.0-20.0
Fluoruros %	12.0-16.0
Punto de fusión °C	980 máximo

Granulometría	Retenidos %
Tamiz +50	8-12
Tamiz +70	9-13
Tamiz +100	13-17
Tamiz +140	14-18
Tamiz +200	6-10
Tamiz +270	13-16
Tamiz -270	Resto

¹² VULCAMEX, S.A. de C.V.

ANEXO 6. Hojas de datos de seguridad de materias primas y servicios

Tabla A-6.1 Hoja de seguridad del nitrógeno.¹³

	Empresa Fundidora de Aluminio	Datos de seguridad del Producto
Nombre: Nitrógeno		
Identificación del producto	Nombre Químico	Nitrógeno
	Fórmula	N ₂
	Sinónimos	No aplica
	Familia Química	No aplica
	Peso Molecular	28.01
	Nombres comerciales	Nitrógeno
Riesgos de los componentes	Material (CAS No.)(Chemical Abstract System No.)	Nitrógeno (7727-37-9)
	% peso	100
	TLV-TWA (ACGIH) 1989-1990) límite de exposición máxima durante 8 h/d y 40 h/semana	Siempre asfixiante
Propiedades físicas	Punto de ebullición (760 mm Hg)	-195.8 °C (-320.46 °F)
	Punto de congelamiento	-210 °C (-345.8 °F)
	Gravedad específica (agua = 1)	Gas
	Presión de vapor a 21 °C	Gas
	Densidad de vapor (aire = 1)	0.967
	Solubilidad en agua % peso	Despreciable
	% de materia volátil en volumen	100
	Coefficiente de evaporación (Acetato de butilo = 1)	No aplica
	Apariencia y olor	Gas incoloro e inodoro a temperatura y presión normales
Información necesaria para la protección de la salud	Ingestión	Este producto es un gas a temperatura y presión normales
	Absorción por la piel	De acuerdo a la información disponible no hay evidencia de efectos adversos

¹³ PRAXAIR MÉXICO, S.A. de C.V.

Continuación Tabla A-6.1

Información necesaria para la protección a la salud	Inhalación	Asfixiante, concentraciones moderadas pueden causar jaquecas, somnolencia, excitación, salivación excesiva, vómito e inconsciencia. La falta de oxígeno es causa de muerte
	Contacto con la piel	No se esperan efectos dañinos del vapor. El líquido puede causar congelamiento.
	Contacto con los ojos	No se esperan efectos dañinos del vapor
	Efectos de la sobreexposición repetida (crónica)	De acuerdo a la información disponible, no hay evidencia de efectos adversos.
	Otros efectos de sobreexposición	El contacto con el líquido puede causar congelamiento
	Condiciones médicas agravadas por la sobreexposición	El conocimiento de la información toxicológica disponible y de las propiedades físicas y químicas del material, sugiere que es improbable que la sobreexposición agrave condiciones médicas preexistentes
	Datos de laboratorio significativos, con posible relevancia en la evaluación de la salud humana	Ninguno conocido a la fecha
Procedimientos de emergencia y primeros auxilios		
	Ingestión	Este producto es un gas a temperatura y presión normal
	Contacto con la piel	En caso de exposición al líquido, de inmediato enjuagar la parte afectada con agua caliente (no más de 40 °C). En caso de exposición masiva, quite las ropas al paciente bajo ducha caliente. Llame al médico

Continuación Tabla A-6.1

	Inhalación	Lleve al paciente al aire fresco. Aplique respiración artificial si no respira. Administre oxígeno si la respiración se dificulta. Llame al médico.
	Contacto con los ojos	En caso de salpicadura inmediatamente enjuague los ojos con agua en abundancia, durante 15 minutos cuando menos. Llame al médico de inmediato, de preferencia un oftalmólogo
	Notas para el médico	No hay antídoto específico. El tratamiento debe dirigirse al control de síntomas y a la condición clínica
	Nota	La conveniencia de usar este producto en mezclas de gas para respiración submarina, debe determinarse o estar bajo la supervisión de personal experimentado en el uso de este tipo de mezclas y familiarizado con los efectos, métodos, frecuencia y duración del uso, así como con los efectos colaterales y las precauciones a tomar
Peligros de fuego y explosión	Punto de ignición	No aplica
	Temperatura de autoignición	No aplica
	Límites de inflamabilidad en el aire % en volumen	Inferior: No aplica Superior: No aplica
	Métodos de extinción	El nitrógeno no es inflamable. Use los medios adecuados para incendios en el entorno
	Procedimientos especiales en caso de incendio	Evacué a todo el personal del área de peligro inmediatamente humedezca los contenedores con agua por aspersión desde una distancia máxima hasta que se enfríen. Retire los contenedores lejos del área de incendio

Continuación Tabla A-6.1

	Peligros inusuales de fuego y explosión	El nitrógeno no se inflama. El contenedor puede romperse debido al calor del fuego. Ninguna parte del contenedor debe estar sujeta a temperaturas superiores a los 52 °C (aprox. 125 °F) la mayoría de los contenedores están provistos con un dispositivo de alivio de presión diseñado para ventilar cuando son expuestos a temperaturas elevadas
Datos de reactividad	Estabilidad	Inestable: x Estable: v
	Condiciones a evitar	Ver: precauciones especiales
	Incompatibilidad (materiales a evitar)	Bajo ciertas condiciones, el nitrógeno puede reaccionar violentamente con el litio, neobio, titanio y ozono
	Productos de descomposición peligrosos	Ninguno
	Riesgos de polimerización	Podría ocurrir: x No ocurre: v
	Condiciones a evitar	Ninguna conocida a la fecha
Procedimiento en caso de derrame o fuga	SI EL PRODUCTO SE DERRAMA O FUGA SIGA LOS SIGUIENTES PASOS: Inmediatamente evacúe a todo el personal del área de peligro. Use equipo de respiración autónomo cuando se requiera. Si puede hacerlo sin riesgo, cierre la fuga, ventile el área de la fuga o lleve a un área bien ventilada el contenedor que presenta fuga. Antes de permitir el reingreso del personal, pruebe el área, especialmente las áreas cerradas para cerciorarse que hay suficiente oxígeno	
	MÉTODO DE ELIMINACIÓN DE DESECHOS: Consulte los ordenamientos que indica la ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente, reglamentos y normas técnicas aplicables en vigencia. Mantenga retirado al personal. Deseche el producto, residuos y recipientes desechables de una manera ambientalmente aceptable	

Continuación Tabla A-6.1

Información para protección especial	<p>PROTECCIÓN RESPIRATORIA: Consulte el reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo, instructivo # 17, Fracción V, de la STPS. Utilizar equipo de respiración de aire autónomo de presión positiva en atmósferas deficientes de oxígeno (menores al 9.5 % de oxígeno) o en concentraciones de contaminantes, tales que sean de inmediato peligro para la vida o salud.</p>	
	VENTILACIÓN	<p>Extracción local: de preferencia Mecánica general: aceptable Especial: No aplica Otra: no aplica</p>
	<p>GUANTES DE PROTECCIÓN: Consulte el reglamento de seguridad e higiene en el trabajo. Instructivo # 17 Fracción IV, de la STPS, utilice guantes de piel o carnaza para el manejo de cilindros</p>	
	<p>PROTECCIÓN OCULAR: Consulte el reglamento de seguridad e higiene en el trabajo. Instructivo # 17, Fracción IV de la STPS, utilice lentes con protección lateral, goggles para proteger, lentes protectores de la vista o pantallas faciales completas. No deberán utilizarse lentes de tipo de contacto o pupilentes.</p>	
	<p>OTROS EQUIPOS DE PROTECCIÓN: Consulte el reglamento de seguridad e higiene en el trabajo. Instructivo # 17 Fracción IV, de la STPS, utilice calzado tipo bota con protección metatarsal y puntera de acero para el manejo de cilindros. Los pantalones deberán portarse por fuera del calzado y sin valenciana.</p>	
Precauciones especiales	<p>PRECAUCIÓN: Gas a alta presión, use tubería y equipos diseñados adecuadamente para resistir posibles presiones. Puede causar sofocación rápida, por la deficiencia de oxígeno. Siempre almacene y use con una ventilación adecuada. Cierre la válvula cuando no la utilice o cuando se termine el gas</p>	
	<p>MEZCLAS: Cuando dos o más gases licuados se mezclan sus propiedades peligrosas pueden combinarse para crear peligros adicionales e inesperados. Obtenga y evalúe la información de seguridad para cada componente, antes de realizar la mezcla. Consulte una higienista industrial, o a otra persona capacitada cuando haga la evaluación de seguridad de su producto final. Recuerde que los gases y los líquidos tienen propiedades que pueden causar daños muy serios</p>	

Continuación Tabla A-6.1

Precauciones especiales	e incluso la muerte. Asegúrese de leer y comprender todas las etiquetas e instructivos que se proporcionan en todos los contenedores de este producto. Para información general del manejo de cilindros con gases comprimidos. Obtenga una copia del folleto P-1 "manejo seguro de contenedores con gases comprimidos"
	OTRAS CONDICIONES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO: Nunca trabaje en sistemas presurizados. Si hay alguna fuga, cierre la válvula del cilindro y ventile el sistema, cuidando que dicha ventilación desfogue a un lugar seguro. Después repare la fuga
	NOTA IMPORTANTE: Por ningún motivo modifique las condiciones normales del recipiente. No retire la válvula, no golpee el cilindro, no lo use como rodillo, no haga arco eléctrico con él, no lo recargue con otros gases, evite que la válvula o el cuerpo del recipiente se contaminen con grasa o aceite. No desprenda las etiquetas, tomar estas precauciones puede evitar peligros adicionales

Tabla A-6.2 hoja de datos de seguridad de PEMEX NACIONAL CORTACERO A 5090¹⁴

	Empresa Fundidora de Aluminio	Datos de seguridad del producto
Nombre: PEMEX NACIONAL CORTACERO A 5090		
Composición Química	Base de aceite parafínico: 91.5-95.4 % volumen Aceite graso clorados y sulfurizados = 8.5-4.6 % en volumen Comentario: El aceite base consiste en mezcla de aceites básicos parafínicos refinados con solventes	
PRIMEROS AUXILIOS		
Contacto con la piel	Procedimientos de primeros auxilios no son requeridos. Como precaución, lave la piel vigorosamente con jabón y agua. Remueva y lave la ropa contaminada	
Contacto con los ojos	No se requiere de primeros auxilios. Pero como precaución lave los ojos con agua por 15 minutos manteniendo los ojos abiertos	
Ingestión	Si es ingerido, dé de beber agua o leche y llame al médico. Consulte al médico antes de inducir al vómito. Si no se obtiene ayuda médica, lleve a la persona a un centro de emergencia	
Inhalación	No aplica	
FLAMABILIDAD		
Propiedades de flamabilidad	Temperatura de inflamación: 175 °C (347 °F) ASTM D-92 Autoignición: no aplica Medio de extinción: CO ₂ , polvo químico y espuma	
Clave CRETIB	Tóxico e Inflamable	
Rangos de la NFPA	Salud 1, Flamabilidad 1, Reactividad 0 (mínimo 0, ligeramente 1, moderado 2, alto 3, extremo 4)	
Instrucciones para combatir el fuego	Para incendio de este material no entre en el siniestro sin una adecuada protección incluyendo mascarilla	
Productos de la combustión	La combustión forma CO ₂ y vapor de agua y puede producir óxidos de nitrógeno y azufre. Una combustión incompleta puede producir CO, que es considerado un veneno	
PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAMES		
Métodos para limpieza	Elimine todo medio de ignición, ventile las áreas confinadas. Mantenga alejado al personal. Recupere el producto suelto. Ponga arena, tierra o cualquier otro producto absorbente autorizado por las regulaciones estatales, en el área de derrame. Mantenga el producto fuera de las alcantarillas, colóquelo en recipientes cerrados	

¹⁴ MEXICANADE LUBRICANTES, S.A de C.V.

Continuación Tabla A-6.2

MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
Manejo y almacenamiento	No suelde, caliente o perforo el recipiente. La ignición de los residuos puede provocar una explosión violenta si es calentado lo suficiente. PRECAUCIÓN: No aplique presión cuando el tambor este vacío porque puede ocurrir una explosión
EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL	
Medidas de protección	No son requeridas
Protecciones respiratorias	No se requiere de una protección normal. Si las condiciones de operación resultan mezcladas en el aire o el vapor de este material, es recomendado el uso de un respirador aprobado
Protección de ojos y cara	No se requiere
Protección de manos	Usar guantes
Protección de piel	No se requiere, se puede usar para minimizar el contacto, ropa de protección
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	
Descripción física	Líquido Punto de congelación: -20 °C Punto de ebullición > 300 °C Autoflamabilidad: No probada Olor: Característico Densidad: 0.860-0.900 g / cm ³ a 20 °C Temperatura de inflamación: 200 °C Viscosidad: 32 / 320 mm(2)/s (cst) a 40 °C
ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Productos Peligrosos de descomposición	Descomposición térmica o quemado puede liberar óxidos de carbono, azufre y nitrógeno
Estabilidad química	Estable a temperaturas debajo de 200 °C (392 °F)
Condiciones para evitar	Datos no disponibles
Materiales que evitar	Ácidos fuertes, bases fuertes y agentes fuertemente oxidantes

Continuación Tabla A-6.2

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
Información toxicológica adicional	Este producto contiene, base de aceite del petróleo, el cual es refinado por varios procesos incluyendo una severa extracción de solventes y un severo hidrotreatment. Ninguno de los aceites requiere de advertencias sobre el cáncer según OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). Estos aceites no están enlistados en el reporte anual de la National Toxicology Program (NTP), no han sido clasificados por la Agencia Internacional para el estudio del cáncer (IARC) como cancerígeno a los humanos (Grupo 2 ^a), o posiblemente cancerígeno a humanos (Grupo 2B)
INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
Ecotoxicidad	De este producto no se espera que presente algún daño ambiental como aquellos asociados con los derrames de aceite
Ambiente	Dato no disponible
DESECHOS	
Consideraciones para los desechos	Coloque los materiales de desecho en un contenedor y deposítelo de acuerdo a las regulaciones gubernamentales existentes. Contacte a las autoridades locales ambientales y de salud para la aprobación de los desechos de este producto
TRANSPORTE	
Nombre del transporte	No diseñado como material de riesgo según las autoridades federales
Clase de riesgo	No aplicable
Número de identificación	No aplicable
Clase de empaque	No aplicable
INFORMACIÓN ADICIONAL	
Examen médico recomendable	Seguir instrucciones de la STPS
Métodos sugeridos para efectuar el análisis	Referirse en cada caso a los métodos establecidos por el ASTM (American Society for Testing and Materials)

Tabla A-6.3 Hoja de datos de seguridad de PEMEX HIDRÁULICO ISO 32¹⁵

Empresa Fundidora de Aluminio	Datos de seguridad del producto
Nombre: PEMEX HIDRÁULICO ISO 32	
Composición Química	Base de aceite parafínico: 98.6-98.8 % en volumen Mezclas fenatos de calcio y ditiofosfato de zinc: 1.2-0.7 % en volumen Copolímero de alquil metacrilato: 0.2-0.4 % en volumen Comentario: el aceite base consiste de, mezcla de aceites básicos parafínicos refinados con solventes
PRIMEROS AUXILIOS	
Contacto con la piel	Procedimientos de primeros auxilios no son requeridos. Como precaución, lave la piel vigorosamente con jabón y agua. Remueva y lave la ropa contaminada
Contacto con los ojos	No se requiere de primeros auxilios. Pero como precaución lave los ojos con agua por 15 minutos manteniendo los ojos abiertos
Ingestión	Si es ingerido, dé de beber agua o leche y llame al médico. Consulte al médico antes de inducir el vómito. Si no se obtiene ayuda médica, lleve a la persona a un centro de emergencia
Inhalación	No aplica
FLAMABILIDAD	
Propiedades de flamabilidad	Temperatura de inflamación: 200 °C (392 °F) ASTM D-92 Autoignición: No aplica Medio de extinción: CO ₂ , polvo químico y espuma
Clave CRETIB	Tóxico e Inflamable
Rangos de la NFPA	Salud 1, Flamabilidad 1, Reactividad 0 (mínimo 0, ligeramente 1, moderado 2, alto 3, extremo 4)
Instrucciones para combatir el fuego	Para incendio de este material no entre en el siniestro sin una adecuada protección incluyendo mascarilla
Productos de la combustión	La combustión forma CO ₂ y vapor de agua y puede producir óxidos de nitrógeno y azufre. Una combustión incompleta puede producir CO, que es considerado un veneno.

¹⁵ Loc.cit

Continuación Tabla A-6.3

PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES	
Métodos para limpieza	Elimine todo medio de ignición. Ventile las áreas confinadas. Mantenga alejado al personal. Recupere el producto suelto. Ponga arena, tierra o cualquier otro producto absorbente autorizado por las regulaciones estatales en el área del derrame. Mantenga el producto fuera de las alcantarillas, colóquelo en recipientes cerrados.
MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
Manejo y almacenamiento	No sude, caliente o perforo el recipiente. La ignición de los residuos puede provocar una explosión violenta si es calentado lo suficiente. PRECAUCIÓN: No aplique presión cuando el tambor este vacío porque puede ocurrir una explosión.
EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL	
Medidas de protección	No son requeridas
Límites de controles de exposición	Ninguno
Protecciones respiratorias	No se requiere de una protección normal. Si las condiciones de operación resultan mezcladas en el aire o el vapor de este material, es recomendado el uso de un respirador aprobado.
Protección de ojos y cara	No se requiere
Protección de manos	Usar guantes
Protección de piel	No se requiere. Se puede usar para minimizar el contacto, ropa de protección.
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	
Descripción física	Líquido Punto de congelación = -20 °C Punto de ebullición > 300 °C Autoflamabilidad: No aprobada Olor: característico Densidad = 0.860-0.900 g / cm ³ a 20 °C Temperatura de inflamación = 200 °C Viscosidad = 32/320 mm (2)/s (cst) a 40 °C
ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Productos peligrosos de descomposición	Descomposición térmica o quemado puede liberar óxidos de carbono, azufre y nitrógeno.
Estabilidad química	Estable a temperaturas debajo de 200 °C (392 °F)

Continuación Tabla A-6.3

Condiciones para evitar	Datos no disponibles
Materiales que evitar	Ácidos fuertes, bases fuertes y agentes fuertemente oxidantes
INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
Información Toxicológica adicional	Este producto contiene, base de aceite del petróleo, el cual es refinado por varios procesos incluyendo una severa extracción de solventes y un severo hidrotreamiento. Ninguno de los aceites requiere de advertencias sobre el cáncer según OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). Estos aceites no están enlistados en el reporte anual de la National Toxicology Program (NTP), no han sido clasificados por la Agencia Internacional para el estudio del cáncer (IARC) como cancerígeno a los humanos (Grupo 1), probablemente cancerígeno a humanos (Grupo 2A), o posiblemente cancerígeno a humanos (Grupo 2B).
INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
Ecotoxicidad	De este producto no se espera que presente algún daño ambiental como aquellos asociados con los derrames de aceite.
Ambiente	Dato no disponible
DESECHOS	
Consideraciones para los desechos	Coloque los materiales de desecho en un contenedor y deposítelo de acuerdo a las regulaciones gubernamentales existentes. Contacte a las autoridades locales ambientales y de salud para la aprobación de los desechos de este producto.
TRANSPORTE	
Nombre del transporte	No diseñado como material de riesgo según las autoridades federales
Clase de riesgo	No aplicable
Número de identificación	No aplicable
Clase de empaque	No aplicable
INFORMACIÓN ADICIONAL	
Examen médico recomendable	Seguir instrucciones de la STPS
Métodos sugeridos para efectuar el análisis	Referirse en cada caso a los métodos establecidos por el ASTM.

Tabla A-6.4 Hojas de datos de seguridad del gas licuado de petróleo.¹⁶

Empresa Fundidora de Aluminio		Datos de seguridad del producto		
Nombre: Gas licuado de petróleo				
DATOS GENERALES DEL GAS L.P				
Principales componentes químicos	Nombre químico	Fórmula	Peso molecular	Familia
	Propano	C ₃ H ₈	44.007	Parafinas
	n-Butano	C ₄ H ₁₀	58.123	Parafinas
	Iso-Butano	C ₄ H ₁₀	58.123	Parafinas
Componentes menores e impurezas	Componentes menores propileno y butileno Impurezas. Etano, etileno e hidrocarburos de 5 o 6 átomos de carbono			
Otros datos	De acuerdo a la norma NOML-1, se entiende por gas licuado de petróleo (gas L.P.), a los productos de la destilación del mismo, constituidos por las mezclas de hidrocarburos parafínicos y olefínicos. Principalmente propano, butano normal o isobutano y en menor cantidad propileno y butileno, pudiendo tener como impurezas etano, etileno e hidrocarburos con 5 o 6 átomos de carbono, mezclas que han sido licuadas y que satisfacen los requisitos de esta norma. El gas L.P sólo debe ser contenido en recipientes constituidos bajo normas NOM-X 1992 y NOM-021-SCFI 1993 (para recipientes portátiles y recipientes no portátiles respectivamente).			
COMPONENTES RIESGOSOS				
Número De CAS	58476-85-7			
IPVS (IDLm)	19000 ppm (34.2 g/m ²)			
Límite máximo permisible de concentración ponderada promedio en tiempo (CPT)	1000 ppm (1800 mg/m ²)			
Concentración para exposición a corto tiempo (CCT)	1250 ppm (mg/m ³)			
Número de Naciones Unidas	1076-2			
Grado de riesgo	A la salud 1, Inflamabilidad 4			

¹⁶ Hoja de datos de seguridad de la empresa distribuidora de gas "Gas Uribe S.A. de C.V."

Continuación Tabla A-6.4

Efectos cancerígenos y/o teratógenos	Ninguno de los componentes del gas L.P tiene la propiedad de provocar cáncer o de ser teratogénico
PROPIEDADES FÍSICAS	
Temperatura de ebullición (°C) Propano 42.5, Butano – 0.5	Temperatura de fusión (°C) Propano –187.6, Butano –138.6
Presión de vapor (mmHg a 20 °C) Propano 614 Butano 1635	Densidad relativa del líquido (15/15 °C) Propano 0.507 Butano 0.580
Densidad relativa del vapor (aire = 1) Propano 1.5226 Butano 2.0060	Solubilidad en agua (% en peso a 20 °C) Propano 0.0079 Butano 0.0080
Reactividad en agua No reacciona con agua	Estado físico, color y olor Gas licuado a presión, olor característico e incoloro
Velocidad de evaporación (butilacetato) Superior a 1	Punto de inflamación No corresponde en un gas
Temperatura de autoignición (°C) Propano 450 Butano 405	% de volatilidades No corresponde en un gas
Límite inferior de inflamabilidad (% en vol) Propano 2.0 Butano 1.5	Límite superior de inflamabilidad (% vol) Propano 9.5 Butano 9.0
RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN	
Inflamabilidad	El gas L.P es extremadamente inflamable y puede arder con presencia de calor, chispa o flama
Medio de extinción	Niebla de agua: si, espuma: no, CO: no Polvo químico seco: si, otros: antes de extinguir el fuego de gas L.P debe de tenerse el escape del material
Equipo especial de protección para combate de incendios de gas L.P	Chaquetón y pantalón de nomex, casco de bombero, botas cortas para bombero y guantes de lona. En lugares cerrados o con deficiencia de oxígeno usar equipo de respiración autónomo (ARA)

Continuación Tabla A-6.4

<p>Procedimiento especial para combate de incendios de gas L.P</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ante todo de la señal de alarma, notifique a bomberos y a protección civil 2. El fuego, no debe ser extinguido a menos que el escape del material pueda ser detenido 3. Conatos y fuegos en recipientes portátiles o cilindros pueden ser extinguidos 4. Si puede hacerlo sin riesgo, retire los recipientes portátiles del área de riesgo 5. En los incendios masivos, recipientes no portátiles, autotankes y semiremolques, considere lo siguiente: <ol style="list-style-type: none"> a) Enfriar el recipiente desde la máxima distancia posible, aplicando agua en gran cantidad con monitores fijos de mangueras con boquillas reguladoras de flujo a razón de $10 \text{ L} \cdot \text{min}/\text{m}^2$, de superficie expuesta, si el recipiente expuesto a flama directa aumente la dosificación de agua por lo menos a $25 \text{ L} \cdot \text{min}/\text{m}^2$ b) Manténgase alejado de las cabezas del recipiente utilice patrón de niebla para el enfriamiento y no dirija el agua a la fuente de la fuga ni a las válvulas de seguridad porque puede haber congelamiento c) En caso de poder detener el escape del material, hágalo protegido con cortinas de niebla de agua y continúe el enfriamiento del recipiente, aun después de que el fuego halla sido extinguido d) Si no es posible detener el escape de gas, enfríe y permita que el combustible se autoconsuma e) Retirarse y evacuar el área de inmediato, en un radio de 650 m a la redonda en los siguientes casos: Si el agua es insuficiente no se garantiza el suministro continuo para el enfriamiento. Si aumenta el sonido de las válvulas de seguridad del recipiente expuesto al fuego. Si empieza a decolorarse la superficie del recipiente, antes del excesivo calentamiento del metal.
--	--

Continuación Tabla A-6.4

Condiciones que conducen a otro riesgo especial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los vapores del gas L.P son inicialmente más pesados que el aire y pueden formar mezclas inflamables, la nube inflamable puede arder y originar explosiones no confinadas (UVCE) 2. Un recipiente que contenga gas L.P y que sea expuesto al fuego directo por más de diez minutos puede explotar por la expansión de los vapores del líquido en ebullición, los fragmentos se proyectan a gran distancia 3. En ambos casos la reacción térmica y la onda de sobrepresión resultante, son muy destructivas
Productos de la combustión	El gas L.P arde completamente formando CO ₂ y agua. En lugares cerrados o con deficiencia de oxígeno pueden formarse grandes cantidades de CO, que es nocivo para la salud.
DATOS DE REACTIVIDAD DEL GAS L.P	
Sustancia	Estable: si Inestable: X
Condiciones a evitar	El gas L.P es altamente inflamable Evitar la cercanía de los recipientes a fuentes de fuego y calor. Evitar fugas o derrames y sobrellenados de los recipientes
Incompatibilidad	El gas L.P es incompatible y puede reaccionar con sustancias oxidantes como cloro, bromo, flúor. No reacciona con el agua, ácidos, bases, ni con otros reactivos de uso común
Descomposición en componentes peligrosos	El gas L.P es muy estable y no se descompone en otras sustancias peligrosas
Polimerización peligrosa	Puede ocurrir: no No puede ocurrir: X
Condiciones a evitar	El gas L.P no tiene la propiedad de polimerizarse

Continuación Tabla A-6.4

RIESGOS DEL GAS L.P PARA LA SALUD		
Vías de entrada	Síntomas del lesionado	Primeros auxilios
Ingestión accidental	Su ingestión es difícil, pero se han reportado síntomas de pulmonía bilateral progresiva, vomito, dolor abdominal, gastritis y esofagitis hemorrágicas por butano	Ingerir agua en abundancia si es preciso aplicar antibióticos antiácidos
Contacto con los ojos	Entorpecimiento pasajero de la visión y deficiencia visual nocturna, irritación, dolor, lagrimeo o fotobia	Irrigar con cantidades copiosas de agua a temperatura ambiente por 15 minutos
Contacto con la piel	El contacto con el líquido puede provocar quemaduras por congelación, cuya intensidad varía de acuerdo al tiempo de exposición, provoca dolor, hinchazón, irritación e inflamación de tejidos	Recuperar la temperatura corporal sumergiendo la zona afectada en agua a 42 °C durante 20 a 30 minutos
Absorción	No se ha reportado ningún síntoma patológico	Ventilación prolongada
Inhalación	Es un asfixiante simple, desplaza al oxígeno del aire y puede provocar las siguientes fases de hipoxia. <ul style="list-style-type: none"> a) Etapa de indiferencia, disminuye la visión nocturna, aumento de respiración y pulso b) Etapa compensatoria, disminuye las habilidades de ejecución y de alerta c) Etapa de confusión, fatiga, mareos, visión túnel, dolor de cabeza y confusión mental d) Etapa crítica, pérdida total de juicio y coordinación y estado de inconciencia 	Sacar a la víctima del área contaminada. Aplicar respiración artificial si la víctima no respira. Suministrar oxígeno, si se respira con dificultad.
Sustancia química considerada como cancerígena	De acuerdo a la NOM-010-STPS-1993 no es cancerígena	
INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME		
El gas L.P se almacena y transporta en forma líquida en equilibrio con su vapor un escape del material puede presentar en ambas fases, si escapa en fase líquida se vaporiza inmediatamente, pasando a su forma gaseosa. El gas con el aire forma mezclas inflamables y explosivas, lo cual depende de la magnitud de la nube, de las condiciones atmosféricas y de confinamiento.		

Continuación Tabla A-6.4

Recomendaciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ante todo dé la señal de alarma, notifique a bomberos y protección civil 2. Evacuar el área a 650 m a la redonda y evitar cualquier fuente de ignición 3. Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo 4. Pequeñas fugas en conexiones, pueden ser congeladas provisionalmente con franelas húmedas 5. Fugas en tuberías y válvulas pueden obstruirse con escalera de madera 6. De ser posible, gire el recipiente de manera que escape vapor en lugar de gas 7. En atmósferas saturadas de vapor utilice equipo de respiración autónomo (ARA) y ropa de protección total 8. Utilice ventilación forzada con niebla de agua, para dispersar los vapores del gas 9. Evite el acumulamiento de los vapores en zonas subterráneas o su introducción en alcantarillas y drenajes 10. Verifique el índice de explosividad antes de retornar a la normalidad
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
Tipo	<p>Proveer y exigir a los trabajadores el uso de ropa de algodón, guantes de cuero, casco clase C y calzado de protección para uso general.</p> <p>También se debe tener al alcance un extintor y una manta contra fuego</p>
Prácticas de higiene	<p>Se ha de quitar inmediatamente cualquier ropa que se sature con gas L.P líquido y no se deberá usar hasta que éste se halla volatilizado por completo al aire libre.</p> <p>El personal debe realizar su trabajo sólo bajo sus mejores condiciones físicas y mentales.</p> <p>Fomentar el deporte al aire libre y el desarrollo integral de todo el personal.</p>
INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN DE GAS L.P	
<p>El transporte de gases licuados del petróleo esta regulado por el "Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" y debe cumplir los siguientes requisitos y normas establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)¹⁷</p>	

¹⁷ Ibidem p.6

Continuación Tabla A-6.4

<ol style="list-style-type: none"> 1. Documentos de embarque según NOM-043-SCT2-1994 2. Información de emergencia en transportación NOM-005-SCT2-1993 3. Documentos que avale la inspección técnica de la unidad para la SCT (artículo 41) 4. El operador deberá contar con licencia vigente para conductores de materiales peligrosos (artículo 52) 5. Bitácora de horas de servicio del conductor (artículo 52) 6. La unidad será identificada como lo señala la norma NOM-004-SCT2-1994 7. La unidad se revisará diariamente por el operador de acuerdo a la norma NOM-008-SCT2-1994 8. Los autotankers serán revisados periódicamente de acuerdo a la norma NOM-099-SCFI-1994 9. Los semiremolques serán revisados periódicamente de acuerdo a la norma NOM-098-SCFI-1994
INFORMACIÓN ECOLÓGICA
<p>El gas L.P se encuentra registrado en el segundo listado de actividades altamente riesgosas (SEGOB: D.O. 4-mayo-1992), y tiene una cantidad de reporte de 50,000 kg por lo tanto toda empresa donde se maneje o almacenen cantidades iguales o mayores a 100,000 L de gas L.P deberá realizar un análisis de riesgo de sus instalaciones y contar con un programa para prevención de accidentes (artículo 14 de la Ley General del Equilibrio Ecológico).¹⁸</p>
PRECAUCIONES ESPECIALES
<p>Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento.</p> <p>Todas las actividades de diseño, construcción, equipamiento, modificación, funcionamiento y retiro de plantas de almacenamiento, estaciones de gas, bodegas de distribución e instalaciones de aprovechamiento así como las modificaciones a equipo y unidades de transporte, se realizan en apego al "Reglamento para la Distribución de Gas L.P" (D.O. 25-nov-93) y deben ser supervisadas por una unidad de verificación acreditada por la SECOFI en la actividad correspondiente.</p> <p>Las operaciones con gas L.P sólo deben realizarse por personal adiestrado y capacitado (NOM-002-STPS-1993).</p> <p>Prohibir toda fuente de ignición como fumar, flamas abiertas, motores de combustión interna sin mata chispa etc. En lugares donde se almacena gas L.P y hasta en un radio de 15 m a la redonda, debe ser prueba de explosión (NOM-EM-001-SCFI-1993) y cumplir con la norma de la SEMIT relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica (NOM-EM-001-SEMP-1993).</p>

¹⁸ Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Instituto Nacional de Ecología. Artículo 14

Continuación Tabla A-6.4

Todas las instalaciones y equipos eléctricos deberán estar aterrizados (NOM-002-STPS-1993).

No se permitirá sobrellenar un recipiente con gas L.P a más del 90% en volumen (NOM-005-STPS-1993).¹⁹

Otras precauciones o recomendaciones.

Es conveniente contar con los señalamientos y lineamientos de seguridad establecidos por SECOFI, SEMARNAT, STPS y SEGOB. Asimismo es indispensable capacitar y adiestrar al personal no solo para realización normal de sus funciones sino también para que este preparado a responder adecuadamente a cualquier contingencia relacionada a su actividad.

¹⁹ Hoja de datos de seguridad de "Gas Uribe S.A. de C.V.".OP. Cit. P.8

Tabla A-6.5 Hoja de datos de seguridad del lubricante LADEX-44F80N, para moldes.²⁰

Empresa Fundidora de Aluminio	Datos de seguridad del producto
INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD	
Contacto con los ojos	No hay riesgo alguno en su uso industrial normal Lavar abundantemente con agua
Contacto con la piel	No provoca irritación ni malestar alguno
Inhalación	No hay riesgo alguno a temperatura ambiente. No representa riesgo alguno los olores que se desprenden de su uso
Ingestión	Toxicidad mínima
Protección personal	La mínima que se requiere a nivel industrial
Nota	Este producto no representa riesgos para la salud si es manejado con las debidas normas de seguridad e higiene

Tabla A-6.6 Hoja de seguridad de la grasa desmoldante y lubricante DEXP-SG, para moldes.²¹

Empresa Fundidora de Aluminio	Datos de seguridad del producto
INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD	
Contacto con los ojos	Lavar abundantemente con agua hasta disminuir la irritación
Contacto con la piel	No produce irritación alguna. En caso de que el producto caliente ocasione una quemadura, sumergir el área afectada en agua fría para disipar el calor. Cubrir con vendas limpias de algodón y recibir atención médica inmediata.
Inhalación	Usar protección respiratoria adecuada. Evitar respiración de vapores. Si se llegan a sentir mareos sacar a la víctima a un área ventilada.
Ingestión	En caso de ingestión accidental no provoque el vómito. Acuda inmediatamente al médico.
Nota	Este producto no representa riesgos para la salud si es manejado con las debidas normas de seguridad e higiene.

²⁰ Hoja de datos de seguridad del proveedor PDI S.A. de C.V. para el producto LADEX-44F80N

²¹ Hoja de datos de seguridad del proveedor PDI S.A. de C.V. para el producto DEXP-SG

Tabla A-6.7 Hoja de datos de seguridad de fundente FLUX 431 V.²²

Nombre: FLUX 431 V	
COMPONENTES	
Sales de sodio 50% en peso	No. CAS: 7647-14-5
Sales de potasio 45% en peso	No. CAS: 7447-40-7
Fluoruros 5% en peso	No. CAS: 16893-85-9
DATOS FÍSICOS	
Apariencia-Olor	Granulado rosa
pH	3-5
Gravedad específica (agua=1)	1-1.5
RIESGOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	
Punto de inflamación	No inflamable
Límite mínimo de explosión	No explosivo
Límite máximo de explosión	No explosivo
Medios de extinción	Ninguno
Procedimiento especial para combate de incendio	Ninguno
Riesgos inusuales de fuego y explosión	No existen
DATOS SOBRE RIESGOS DE LA SALUD	
Efectos por sobre-exposición	No existe
Procedimiento de emergencia y primeros auxilios	Inhalación: No es tóxico al inhalarlo. Contacto con ojos y piel: lavar con agua en abundancia, evitar el contacto. Ingestión: Neutralizar acidez y provocar vómito
REACTIVIDAD	
Estabilidad	Estable
Condiciones que deben evitarse	Evitar humedad, y mantener envase cerrado
Productos peligrosos de la descomposición	Ninguno
Riesgos de polimerización	No ocurre
Incompatibilidad (materiales a evitar)	Humedad
PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME O FUGA	
Pasos a seguir en caso de derrames o fugas	Por ser granulado, limpiar el área con utensilios de limpieza y lavar los residuos con agua, observar regulaciones ambientales

²² Hoja de datos de seguridad del proveedor VULCAMEX S.A. de C.V. del producto FLUX 431 V

Continuación Tabla A-6.7

Método para desechar o destruir el material	Se puede reprocesar por medio de secado y remezclado
INFORMACIÓN ESPECIAL DE PROTECCIÓN	
Tipo de ventilación	Ventilación adecuada
Protección respiratoria (tipo específico)	Mascarilla para polvo con filtro
Guantes protectores	Tela o lona
Protección a los ojos	Lentes
Otros equipos de protección	Uniforme de algodón
ALMACENAMIENTO	
Tiempo de vida	90 días
Interior	Si
En lugar caliente	No
Refrigerado	No
Exterior	No
Precauciones especiales	Ninguna
GENERALES	
Área de la planta a la que se destina el material	Fundición
Uso	Fundente para limpieza y escoriado

ANEXO 7 Análisis del agua residual

Tabla A-7.1 Reporte de análisis de aguas residuales de la empresa fundidora de aluminio.²³

Parámetro	Método de análisis	Valor obtenido	Límite máximo *	Límite de detección
Materia flotante	NMX-06	Ausente	Ausente	-----
Sólidos sedimentables (mg/L)	NMX-04	1.5	7.5	0.1
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	NMX-34	225	200	3
Arsénico total (mg/L)	NMX-51	0.0018	0.75	0.0008
Cadmio total (mg/L)	NMX-51	<0.027	0.75	0.004
Cobre total (mg/L)	NMX-51	0.14	15	0.005
Cromo hexavalente (mg/L)	NMX-44	<0.01	0.75	0.003
Mercurio total (mg/L)	NMX-51	<0.001	0.015	0.0005
Níquel total (mg/L)	NMX-51	<0.06	6	0.01
Plomo total (mg/L)	NMX-51	<0.1	1.5	0.02
Zinc total (mg/L)	NMX-51	1.44	9.0	0.007
Cianuros (mg/L)	NMX-58	0.0097	1.0	0.00065
DBO (mg/L)	NMX-28	240	200	0.5
Grasas y aceites muestra 1 (mg/L)	NMX-05	13.5	100	3
Grasas y aceites muestra 2 (mg/L)	NMX-05	57.3	100	3
Grasas y aceites muestra 3 (mg/L)	NMX-05	75	100	3
Grasas y aceites promedio (mg/L)**	-----	56	75	-----

Nota: * = Límite máximo diario permisible establecido en la norma NOM-002-ECOL-1996

NMX = Norma Mexicana

** = Promedio diario ponderado

M.N = métodos normalizados

N.D = No detectado

S.L = Sin límite fijado por la SEMARNAT en la norma NOM-002-ECOL-1996

²³ Resultado del análisis realizado por el laboratorio "Estudios y Análisis Ambientales S.A. de C.V." Febrero de 2003.

ANEXO 8. Análisis de emisión de las partículas.

Tabla A-8.1 Reporte de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por la chimenea.²⁴

CONTAMINANTE	Nivel máximo permisible +	Emisión Real +
Partículas	337.34	6.24 1er muestreo
	338.66	4.82 2do muestreo

Nota: + mg / m³

Conclusiones

Con el análisis anterior podemos concluir que de acuerdo con la norma NOM-043-ECOL-1993, las emisiones a la atmósfera desde la chimenea se encuentran dentro de norma para los dos muestreos.

Tabla A-8.2 Resultados de análisis de metales

METAL		CANTIDAD
Nombre	Símbolo	mg
Cadmio	Cd	0.00055
Zinc	Zn	0.051
Aluminio	Al	2.819

Nota: Método de análisis absorción atómica

Tabla A-8.3 Resultados de análisis de metales (concentración)

METAL		CONCENTRACIÓN
Nombre	Símbolo	mg/m ³
Cadmio	Cd	0.0003
Zinc	Zn	0.0291
Aluminio	Al	1.6083

Tabla A-8.4 Resultados de análisis de metales (emisión)

METAL		EMISIÓN
Nombre	Símbolo	kg/h
Cadmio	Cd	3.48E-06
Zinc	Zn	3.22E-04
Aluminio	Al	1.78E-02

²⁴ Resultados del análisis realizado por el laboratorio, "KAMPE, S.A. de C.V.", Enero de 2003.

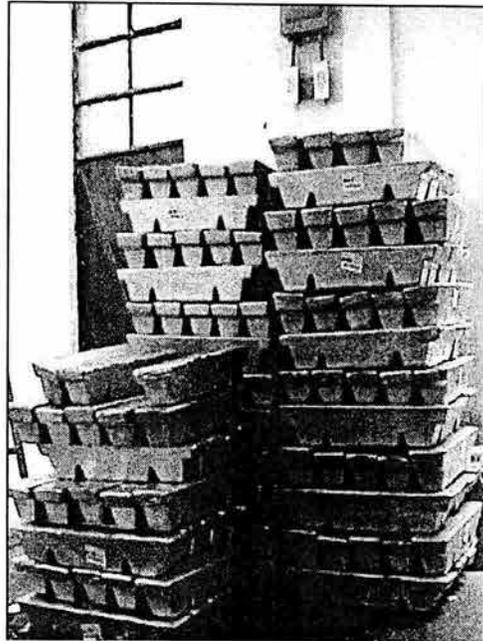


Foto 1. Almacén de materia prima.

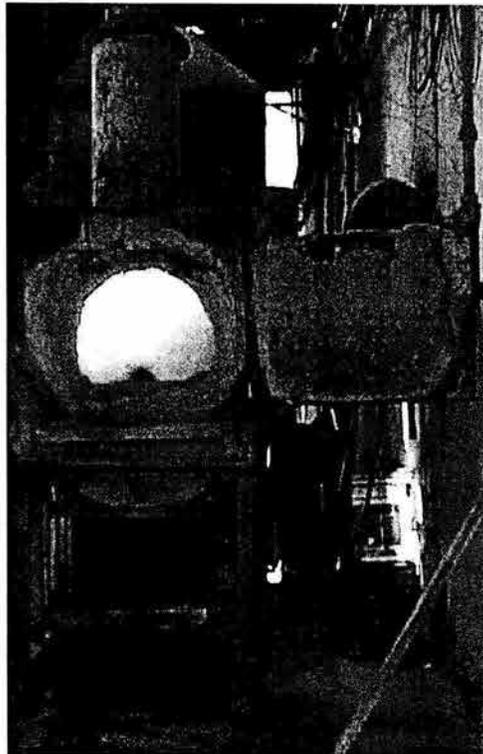


Foto 2.Horno de reverbero a plena carga



Foto 3. Control de la temperatura en el horno de crisol.

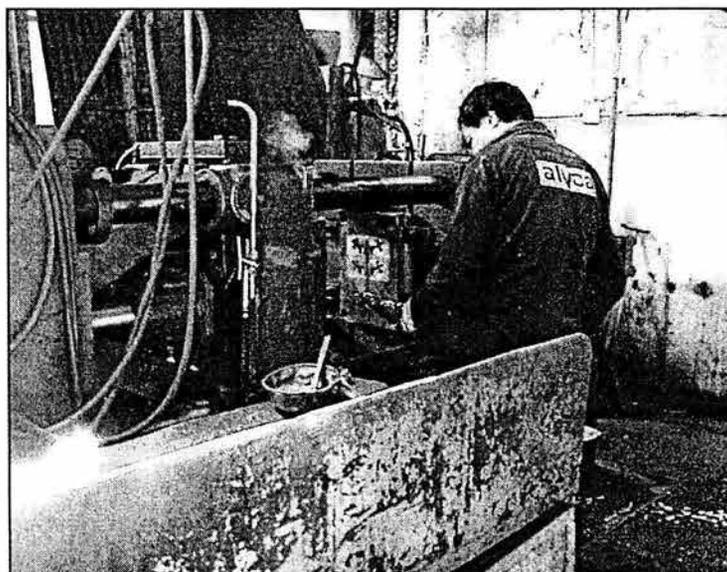


Foto 4. Máquina inyectora del horno de reverbero.

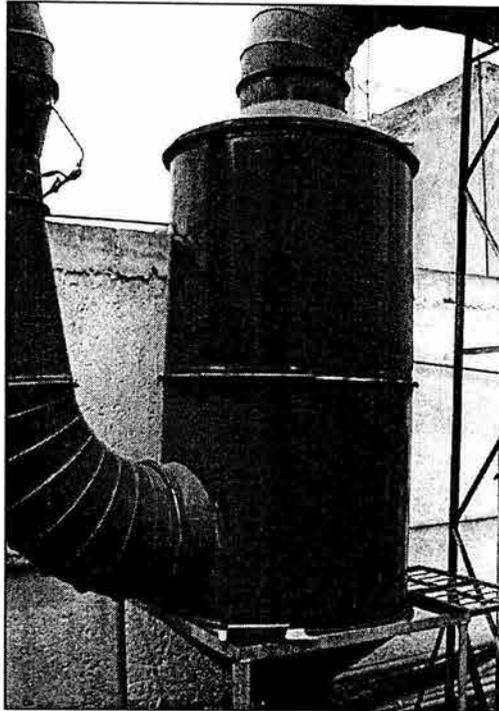


Foto 5. Lavador de gases de la planta, para el control de emisiones.

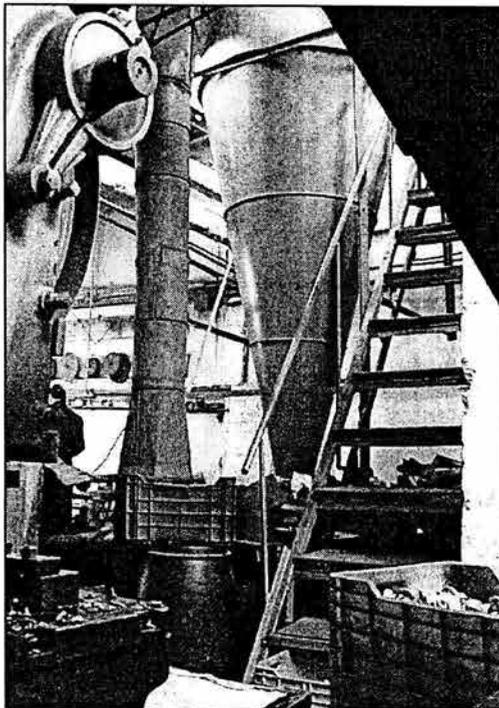


Foto 6. Ciclón colector de polvos de la planta, para el control de emisión de partículas en el ambiente laboral.

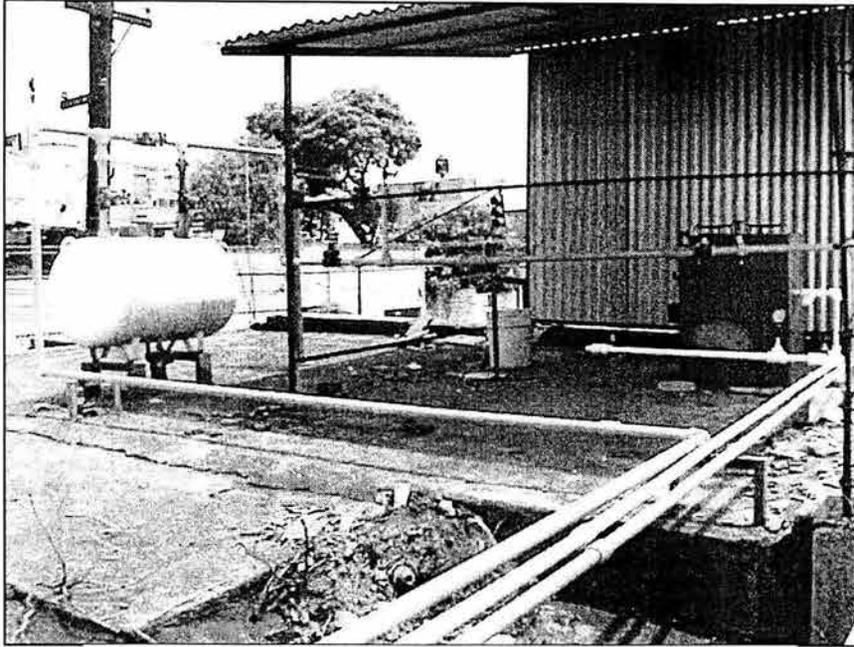


Foto 7. Sistema de vaporizadores, para el precalentamiento del combustible.



Foto 8. Tanque de almacenamiento de gas L.P. de la planta fundidora de aluminio.

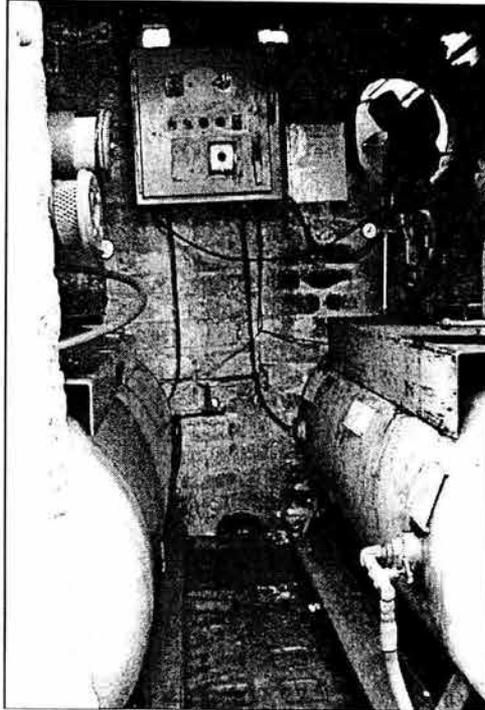


Foto 9. Sistema de compresores para la lubricación del molde en la máquina inyectora.

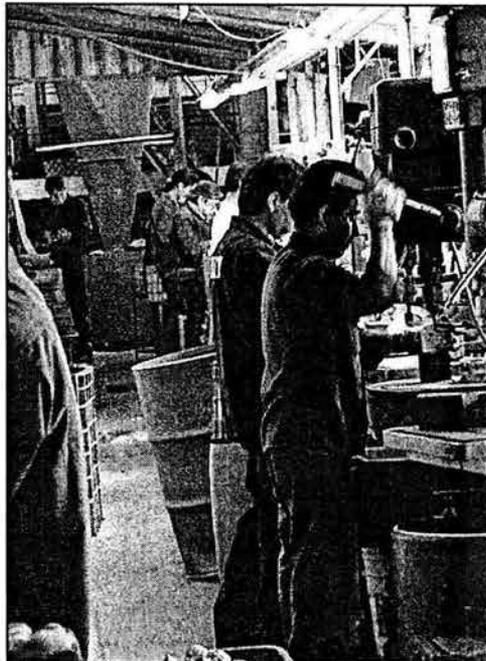


Foto 10. Área de acabados.

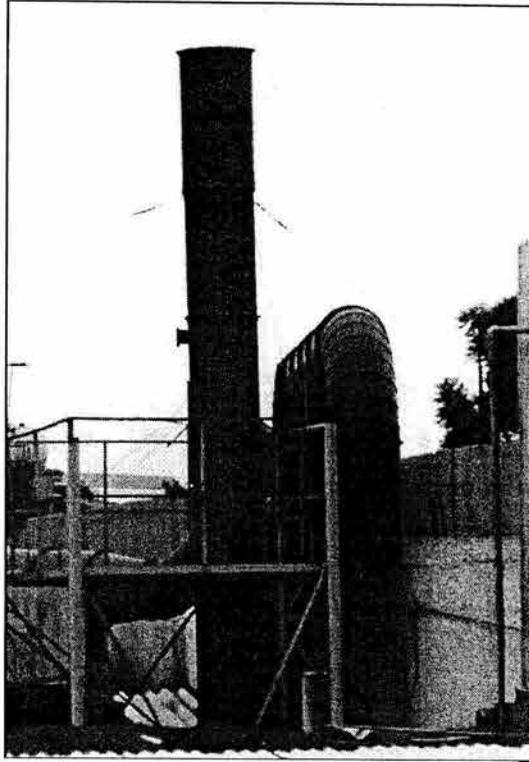


Foto 11. Puerto de muestreo en la chimenea de la planta fundidora de aluminio.

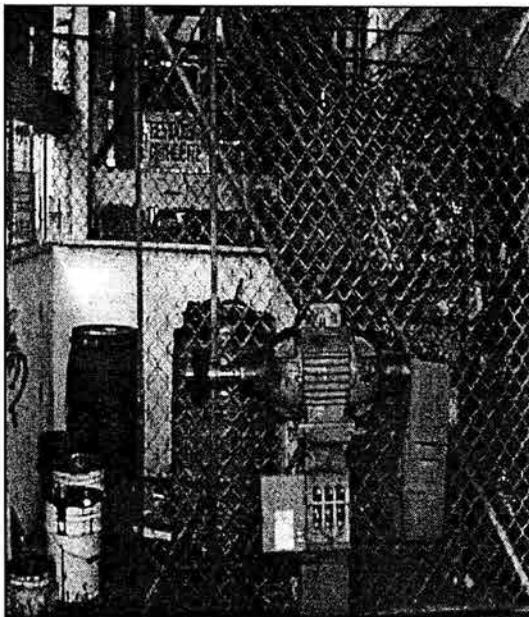


Foto 12. Almacén de residuos peligrosos.

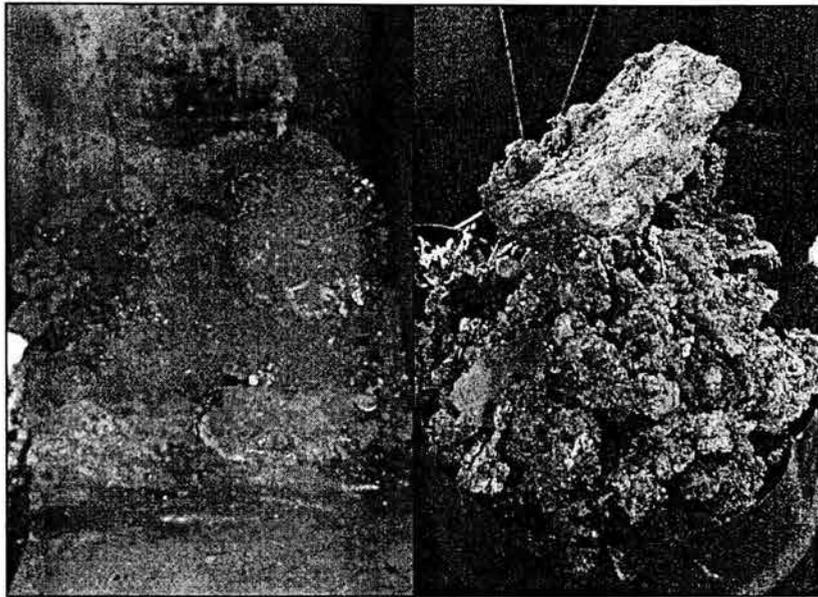


Foto 13. Almacén de escoria obtenida del proceso de fundición.



Foto 14. Lavado de piezas terminadas.

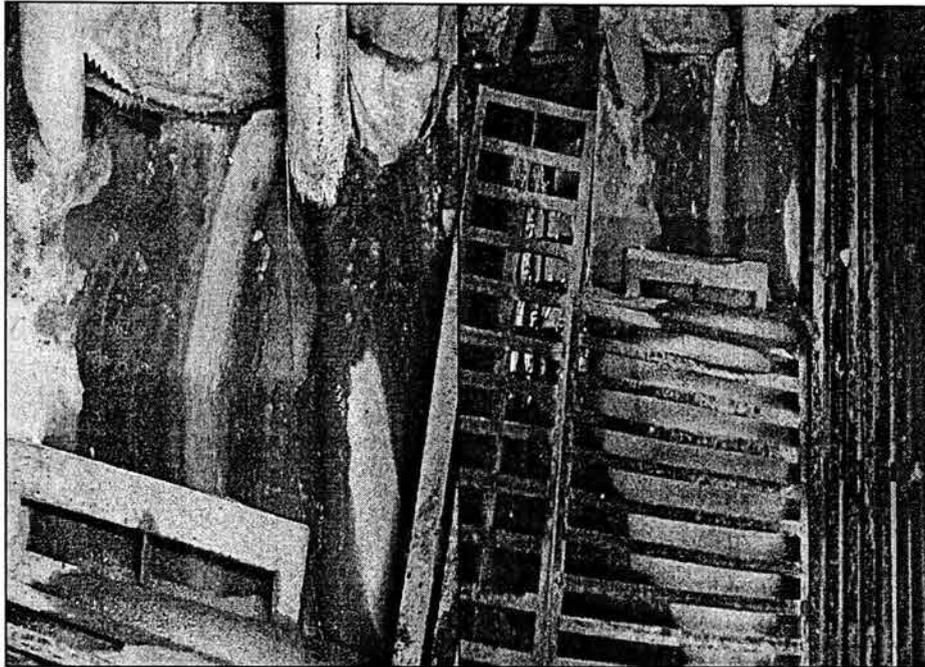


Foto 15. Descarga del lavador de piezas al drenaje.



Foto 16. Producto terminado listo para entrega a clientes.