

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN EN UNA INDUSTRIA FUNDIDORA**

**POR:
JULIÁN CARRILLO REYES**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL JURADO

PRESIDENTE



MC. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL SUPLENTE



ING. DANIEL CRUZ GONZALEZ



**MC. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN EN UNA INDUSTRIA FUNDIDORA**

ASESOR PRINCIPAL



MC. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

ASESOR



ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

ASESOR



ING. DANIEL CRUZ GONZALEZ



**MC. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2005

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en general a mis asesores por su guía y por compartirme su experiencia profesional para que esta tesis fuera satisfactoria y significativa.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico a través de la Beca Tesis.

Especialmente al Ing. Joel Limones Avitia por aceptar incursionar en esta área de la investigación y por facilitarme el trabajar en la empresa donde se realizó esta tesis.

Al MC. Alejandro Moreno Reséndez por sus atinadas observaciones, por su constante apoyo en este y proyectos anteriores, y para la obtención de la Beca Tesis.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo por sus observaciones y múltiples aclaraciones para que esta tesis se pareciera lo más posible a un trabajo científico.

Al Ing. Daniel Cruz González por su apoyo procurando que los proyectos propuestos tuvieran las bases de ingeniería necesarias

Al Ing. Martín Soto Borja por su apoyo en el área de residuos.

Al MC. Arturo Carrillo Reyes por sus apoyo en la redacción de este documento.

Principalmente, agradezco a mi familia y a Elizabeth por su incuantificable apoyo.

*A mis padres,
a Virginia y Arturo,
a Elizabeth.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	3
1.2. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen de la Contaminación Industrial	4
2.2. Filosofías para la Optimización de Procesos	5
2.2.1. Eco-eficiencia.....	6
2.2.1.1. Indicadores de eco-eficiencia.....	9
2.2.2. Producción más limpia	11
2.2.3. Prevención de la contaminación.....	12
2.2.4. Indicadores del desempeño ambiental	17
2.3. Marco Jurídico de la Regulación Ambiental de la Industria en México	21
2.3.1. Políticas de Regulación Directa.....	22
2.3.2. Políticas de Autorregulación.....	23
2.3.3. Instrumentos Económicos y de Información Pública.....	24
2.4. Esquemas de Financiamiento para la Producción Más Limpia	26
2.5. Fundición.....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Manejo Integral de Residuos	32
4.2 Control de Emisiones a la Atmósfera.....	40
4.3 Disminución del uso de resina en el área de moldeo	46
5. CONCLUSIONES	51
6. RECOMENDACIONES	53
7. RESUMEN	54
8. LITERATURA CITADA	55
APÉNDICE A. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Configuración de la Gestión Ambiental en empresas	6
4.1	Residuos generados en la empresa, cantidad generada, área generadora y disposición actual	33
4.2	Ejemplo de una bitácora de generación de Residuos Peligrosos	35
4.3	Evaluación costo-beneficio del Proyecto de Manejo Integral de Residuos	39
4.4	Evaluación costo-beneficio del Proyecto de Control de Emisiones a la Atmósfera	45
4.5	Evaluación costo-beneficio del Proyecto de disminución del uso de resina en el área de moldeo	48
4.6	Inversión fija requerida para la instalación de los Proyectos de Manejo Integral de Residuos y Control de Emisiones a la atmósfera	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Posición de la frontera entre la Prevención de la Contaminación y el Control de la Contaminación	14
2.2	Evolución de las metodologías para diseñar y gestionar la eco-eficiencia, empezando desde la primera definición de la prevención de la contaminación	15
2.3	Ejemplo de la jerarquía para el manejo de un residuo aplicado a un reactor simple	17
4.1	Ubicación, vista frontal y lateral de los puertos de muestreo en la chimenea, de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-009-1993-SCFI	42
4.2	Campana tipo dosel	43
4.3	Ubicación del Sistema de Control de Emisiones en el área de Fusión	44
4.4	Diagrama de flujo del área de moldeo y del sistema de recuperación de arena	47

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del desarrollo industrial es mejorar la calidad de vida de la población en general, proveyendo de bienes y servicios necesarios para su bienestar (Seoanez-Calvo, 1996). Además, la industria tiene un papel importante en la economía de cualquier país, por ejemplo, en el 2003, la industria manufacturera mexicana tuvo una producción bruta de 3'457,970 millones de pesos, lo que representó el 50 % del Producto Interno Bruto de México en ese año (INEGI, 2004a). Por su parte la industria siderúrgica mexicana, dedicada a la transformación de hierro y sus aleaciones, tuvo una producción bruta de 108,792 millones de pesos durante el 2003, ésta tiene aproximadamente 5,000 años de antigüedad, y aún se encuentra vigente por la gran aplicación que tienen sus productos por su maleabilidad y dureza. (INEGI, 2004b).

A contraparte del beneficio del desarrollo industrial, los procesos industriales involucrados en la fabricación y apoyo de la mayoría de los productos pueden tener impactos negativos sobre el ambiente, entre los que se incluyen la generación de residuos, el deterioro de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos naturales. De hecho, los modelos actuales de desarrollo industrial amenazan con exceder los límites de sostenibilidad en términos de utilización de recursos y gestión de residuos, y también son una amenaza potencial para el clima global, la vegetación y la agricultura (Fiksel, 1997).

Dentro de las ramas de la industria siderúrgica, una de las que mayor cantidad de residuos genera es la relacionada con la fundición del hierro y acero. En ésta, las

principales etapas del proceso que generan residuos son la fabricación de moldes compuestos de arena y diferentes aglutinantes, la fundición de metales, el vaciado del metal líquido en los moldes, la limpieza de las piezas fundidas y la recirculación de las arenas gastadas (CAM-SACT, 1996).

La contaminación producida por la industrialización, incluyendo la generada por los procesos relacionados con la industria siderúrgica, es el grado de ineficiencia de los procesos de transformación. Al optimizarse estos procesos se reduce el impacto ambiental que provocan, y al mismo tiempo se obtiene un beneficio económico, el cual debe ser el aliciente principal para que las industrias establezcan estrategias de optimización y disminución de todo tipo de sustancias, incluyendo residuos (Coronado-Maldonado y Oropeza-Monterrubio, 1998).

Actualmente, han surgido varias filosofías destinadas a la optimización de los procesos industriales con el fin de disminuir la contaminación generada por dichos procesos, entre las que se encuentran la Eco-eficiencia, sugerida en 1993 por el Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sostenible (WBCSD-*World Business Council for Sustainable Development*); la Producción más Limpia, la cual fue creada por el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP-*United Nations Environment Programme*) desde 1989; y la Prevención de la Contaminación (P2-*Pollution Prevention*), que surge como una política gubernamental de contaminación y medio ambiente a través de la Ley de Prevención de Contaminación (*Pollution Prevention Act*) que estableció el congreso de los Estados Unidos de América en 1990 (WBCSD-UNEP, 1996; Marteel *et al.*, 2003). La base de estas filosofías es el desarrollo sostenible, es decir, que el desarrollo económico y social debe descansar en la sostenibilidad ambiental (Enkerlin-Hoeflich *et al.*, 1997).

Aunque la relación que describe el impacto de los procesos industriales sobre los ecosistemas aún no está totalmente comprendida, la experiencia de empresas que han adoptado cualquiera de estas filosofías en sus procesos ha demostrado múltiples beneficios, como el cumplimiento de regulaciones ambientales, la disminución de responsabilidades ambientales, el cambio de la imagen pública, los incentivos de comercialización, la reducción de los costos de tratamientos de residuos, la reducción de impuestos, la menor exposición de los trabajadores a riesgos laborales, menor consumo de energía, incremento de la eficiencia de producción, ventajas competitivas y reducción de los impactos negativos al ambiente (DEC-MITPTBE, 1997; Fiksel, 1997; INE, 2000; Marteel *et al.*, 2003).

Cualquiera de los métodos utilizados para optimizar los procesos industriales, se fundamenta en una evaluación mediante el balance del flujo de materiales, identificando los puntos donde la relación entre las entradas y las salidas es tal que indica una ineficiencia del proceso y que por ello, genera un impacto al ambiente.

1.1. Objetivo

El objetivo de la presente investigación fue elaborar proyectos para la prevención de la contaminación producida por las emisiones a la atmósfera y la generación de residuos, de una industria siderúrgica de la rama básica del hierro y acero, dedicada a la elaboración de piezas de hierro gris fundido y acero.

1.2. Hipótesis

Las actividades de la industria básica del hierro y el acero provocan un impacto al medio ambiente, los proyectos de Prevención de la Contaminación reducirán dicho impacto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen de la Contaminación Industrial

Durante la revolución industrial, era creencia común que los recursos de la Tierra así como su capacidad para asimilar productos de desecho eran esencialmente ilimitados. Así, los temas relacionados a la contaminación no eran relevantes. En la actualidad, existe una mayor conciencia de los límites de los recursos naturales que existen y de que la disposición de residuos inevitablemente causa efectos adversos a nuestro ecosistema (Marteel *et al.*, 2003).

A primera vista podría parecer que la contaminación ambiental, producida por la industrialización, es un fenómeno ineludible sobre el que nada se puede hacer, como lo pensaban los industriales de los países desarrollados en las décadas de las sesentas y los setentas; sin embargo, se ha comprobado que esto no es del todo cierto (Coronado-Maldonado y Oropeza-Monterrubio, 1998).

La primera ley de la termodinámica expresa que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma (la materia es una forma especial de energía); mientras que la segunda ley de la termodinámica señala que nunca se puede tener un proceso perfecto de conversión de energía concentrada a trabajo útil, es decir, que se produce energía disipada (residuos). Esta última ley se aplica en las reacciones químicas para producir un compuesto, se observa que cuando se hace reaccionar el elemento o compuesto "A" con el "B" para producir "X", la conversión no es perfecta ya que se obtienen otros subproductos indeseables y residuos de "A" y "B" que no

podieron transformarse en "X", es decir que nunca se tiene un 100% de conversión o eficiencia. Lo anterior se aplica a cualquier proceso, industrial o natural, lo cual no significa que estos no se puedan mejorar, al contrario, lo que actualmente se busca es hacerlos más eficientes mediante su optimización (Coronado-Maldonado y Oropeza-Monterrubio, 1998; Bishop, 2000).

2.2. Filosofías para la Optimización de Procesos

Existe un modelo propuesto por Van Koppen y Hagelarr (1998) que provee una herramienta de diagnóstico para evaluar la estrategia ambiental de una empresa como un proceso dinámico que depende de varios tipos de factores. En este modelo se identifica la configuración de tres estrategias empresariales con respecto al ambiente, orientadas al cumplimiento, al proceso y en cadena. El objetivo del modelo es identificar tres factores que contribuyen a la estrategia ambiental de una empresa: factores internos, tales como tecnología y organización; factores externos, en particular los riesgos ambientales del proceso de la empresa y oportunidades que la gestión puede dar a la empresa; y factores motivacionales, incluidos en el nivel de ambición de la empresa (Scherpereel *et al.*, 2001). Este modelo se resume en el cuadro 2.1.

Con algunas excepciones, como las iniciativas de Identidad o Ingeniería Verde, el Diseño para el Medio Ambiente y los acercamientos al enfoque de ciclo de vida integral de los productos, que se mueven todavía en un ámbito académico, las iniciativas y herramientas de autorregulación corresponden esencialmente a la estrategia orientada al proceso, denominada "Administración Ambiental Preventiva", la cual consiste esencialmente en una aproximación administrativa integral para la atención de los problemas ambientales, caracterizada por una atención prioritaria sobre

los procesos productivos en busca de un aprovechamiento óptimo de materiales, de donde devienen sus ventajas competitivas (INE, 2000).

Cuadro 2.1. Configuración de la Gestión Ambiental en empresas (Van Koppen y Hagelaar, 1998)

Características de la Empresa	Estrategia orientada al cumplimiento	Estrategia orientada al proceso	Estrategia en cadena
Características internas			
Conocimiento e información	El conocimiento se dirige solo a pocos aspectos; poco intercambio de información	El conocimiento es dirigido al proceso de producción, el intercambio de información es a un nivel operacional y táctico	Conocimiento dirigido a la cadena de producción, intercambio de información a un nivel de gestión estratégica
Tecnología	Tecnología de control de contaminación "al final del tubo", dirigida a limpiar y filtrar	Tecnología integrada al proceso, dirigida a la operación	Las innovaciones del proceso y de los productos desde una perspectiva del ciclo de vida
Organización	Las tareas ambientales están concentradas y aisladas a ciertos puntos	Sistema de Gestión Ambiental	Redes de organización ambiental, abarcando clientes y proveedores
Presupuesto	El presupuesto financiero para las inversiones ambientales es limitado.	Presupuesto financiero para inversiones ambientales (con periodos de retorno de 1-4 años)	Presupuesto para inversiones ambientales estratégicas
Relaciones externas			
Riesgos Ambientales	Los riesgos ambientales son serios e inherentes al proceso de producción	Los riesgos ambientales son limitados o convertibles	Los riesgos ambientales no son una restricción
Oportunidades Ambientales	Gran número de oportunidades ambientales	Oportunidades ambientales indirectas	Oportunidades ambientales directas (en el mercado)
Nivel de Ambición	Cumplimiento	Eco-eficiencia	Identidad Verde

2.2.1. Eco-eficiencia

En años recientes, el desarrollo sostenible ha sido abarcado como una subyacente práctica empresarial. El desarrollo sostenible tiene muchas definiciones, pero cada una posee el mismo concepto básico que todos aceptan: mantener las necesidades humanas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades (Martel *et al.*, 2003). Generalmente la sostenibilidad puede

ser descrita en términos de tres medidas simultáneas (Barrera-Roldan y Saldivar-Valdes, 2002):

- Indicadores económicos que consideran los costos y aspectos empresariales del proceso,
- Indicadores sociales que toman en cuenta la importancia de la salud humana y el bienestar social, e
- Indicadores naturales o ecológicos que consideran la pérdida de capital natural a través del uso de materiales o energía, o de la pérdida de biodiversidad.

Otra versión de la sostenibilidad es la eco-eficiencia, la cual es descrita como una actividad empresarial que crea valor económico mientras reduce el impacto ecológico y el uso de recursos (Marteel *et al.*, 2003). Este término fue utilizado por primera vez en el reporte *Cambiando el Curso*, escrito por Stephan Schmidheiny del Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible (BCSD), hoy el WBCSD. El objetivo de la obra era cambiar la percepción de la industria, de ser parte del problema de la degradación ambiental, a la realidad de ser parte de la solución para la sostenibilidad y el desarrollo mundial (WBCSD-UNEP, 1996; WBCSD, 2000a; WBCSD, 2000b).

La OCDE (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), ha denominado a la eco-eficiencia como “la eficiencia con la cual se usan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas”, y la define como el cociente de una salida (el valor de los productos y servicios producidos por una firma, sector o economía como un todo), dividido entre las entradas (la suma de las presiones ambientales generadas por la firma, el sector o la economía) (OECD, 2002).

Por otro lado, la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA), trata de usar los indicadores de eco-eficiencia para cuantificar el progreso hacia la sostenibilidad a nivel macro, define la eco-eficiencia como “más bienestar de menos naturaleza” y afirma que proviene de desligar, el uso de recursos y la contaminación, del crecimiento económico (WBCSD-UNEP, 1996; INE, 2000; WBCSD, 2000a; OECD, 2002; Marteel *et al.*, 2003).

Según la WBCSD la eco-eficiencia se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios con precios competitivos, que satisfacen las necesidades humanas y dan calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida, a un nivel por lo menos acorde con la capacidad de carga estimada de la Tierra (WBCSD, 2000a; Montgomery, 2002).

La Eco-eficiencia considera tres objetivos muy amplios (WBCSD, 2000a):

1. Reducir el consumo de recursos: esto incluye minimizar el uso de la energía, materiales, agua y tierra, mejorando la reciclabilidad, la durabilidad del producto y cerrando el ciclo de los materiales.
2. Reducir el impacto en la naturaleza: esto incluye minimizar las emisiones al aire, las descargas al agua, la disposición de residuos y la dispersión de sustancias tóxicas, también incluye el uso sostenible de los recursos renovables.
3. Incrementar el valor suministrado por el producto o servicio: significa dar más beneficios a los usuarios por medio de la funcionalidad del producto, la flexibilidad y la modularidad, proporcionando servicios adicionales (tales como el mantenimiento, la actualización y el intercambio de servicios), enfocándose en vender las

necesidades funcionales que quieren los usuarios. Vender un servicio en vez del producto mismo abre la posibilidad de que el usuario reciba la solución a su necesidad con menos materiales y recursos.

A pesar de que los principios de eco-eficiencia son válidos y aplicables universalmente, la adopción de ella como una filosofía empresarial se ha limitado a grandes corporaciones y gobiernos de países que han logrado desarrollar herramientas y capacidad de gestión (INE, 2000; Johnstone *et al.*, 2004). Lo que es importante destacar es que la eco-eficiencia es mucho más que un nuevo concepto de "eficiencia ambiental para la producción", es un concepto integrador, altamente comprensivo y ambicioso, que de hecho busca generalizar muchos de los elementos conceptuales y de las herramientas surgidas al amparo del paradigma de "administración ambiental preventiva". De esta forma se habla no sólo de "procesos eco-eficientes", sino de "sociedades" y de "economías eco-eficientes" (INE, 2000).

Además, el término eco-eficiencia ha sido utilizado de diversas maneras: como una meta (se logra la eco-eficiencia cuando...), como un método (la eco-eficiencia implica...) o como un indicador (es posible aumentar la eco-eficiencia mediante...); sin embargo los países miembros de la OCDE (2002) han convenido en usarla como un indicador, es decir; como algo que puede medirse.

2.2.1.1. Indicadores de eco-eficiencia

La eco-eficiencia cuenta con dos dimensiones para su evaluación, la económica y la ecológica, para relacionar el valor del producto o servicio con la influencia ambiental (Verfaillie y Bidwell, 2000), la cual puede ser representada como:

Valor del producto o servicio Impacto ambiental

El progreso en la eco-eficiencia puede lograrse proporcionando mayor valor por unidad de influencia ambiental o unidad de recurso consumida. Existen muchas maneras mediante las cuales la eco-eficiencia puede ser calculada usando la ecuación descrita. Ambos, valor del producto o servicio y la influencia ambiental incluyen muchos indicadores los cuales no pueden estar incluidos en un único número. La compañía interesada necesita escoger proporciones de eco-eficiencia que sirvan a su proceso para la comunicación y la toma de decisiones (Verfaillie y Bidwell, 2000). Los indicadores ambientales se utilizan en cualquier caso para medir o evaluar el desempeño ambiental de cualquier empresa, estos se definen en el apartado 2.2.4.

Más allá de los indicadores convencionales del desempeño ambiental, los investigadores están definiendo indicadores de sostenibilidad que intentan medir el desempeño de las diferentes dimensiones de sostenibilidad en un único parámetro. Como un ejemplo Ress primero introdujo el concepto de la huella ecológica (*ecological footprint*) en 1996 como una medida de la cantidad de superficie de la tierra requerida para mantener el estilo de vida del ciudadano promedio; ésta considera el consumo de recursos naturales y energía (Palmer, 1999). De una manera similar Spangenberg (2002) describió el "prisma de la sostenibilidad" como una herramienta gráfica para localizar un proceso dentro de un marco de sostenibilidad de cuatro dimensiones. Así, el método del espacio ambiental requiere calcular el desempeño de un proceso separadamente para cada dimensión. Diferentes opciones de indicadores de desempeño ambiental pueden ser usados dependiendo del sistema que está siendo evaluado.

2.2.2. Producción más limpia

La Producción más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integral a procesos, productos y servicios, de manera que se aumente la eco-eficiencia y se reduzcan los riesgos para el ser humano y el medio ambiente (WBCSD-UNEP, 1996; INE, 2000). De manera contraria a la eco-eficiencia, que surge a partir de la eficiencia económica, la producción más limpia surge del principio de que la eficiencia ambiental lleva consigo beneficios económicos (WBCSD-UNEP, 1996).

La producción más limpia es una herramienta cuyo principal objetivo es el uso eficiente de todos los recursos demandados por los procesos industriales y la disminución de las emisiones generadas desde su origen (INE, 2000).

La UNEP y la UNIDO (*United Nation's Industrial Development Organization*) la han fomentado a través de la instalación de Centros de Producción más Limpia y hasta el momento ha sido aplicada en su mayor parte en diversos sectores industriales a través de proyectos demostrativos. Sin embargo, a pesar de que los resultados de estos proyectos han sido claramente exitosos, el principal problema es que en las empresas las cuestiones ambientales no son una de las principales preocupaciones y no se logra ver que además de beneficios ambientales se obtienen grandes beneficios económicos derivados de los ahorros de materia prima, energía, etc. (INE, 2000; UNEP, 2002). En México, el Centro Mexicano para la Producción más Limpia opera desde 1996, como parte de Instituto Politécnico Nacional (UNEP, 2002). En los últimos años se han establecido centros regionales en los estados de Chihuahua y Tabasco, pero solo se han desarrollado proyectos demostrativos (CMPL, 2005).

2.2.3. Prevención de la contaminación

A diferencia de la Producción más Limpia, que es básicamente una iniciativa de UNIDO para países en desarrollo, la Prevención de la Contaminación (*P2-Pollution Prevention*) es la iniciativa más difundida en Canadá y los Estados Unidos, por la difusión que le han dado la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA), el Ministerio Canadiense del Ambiente, y la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCAAN). En la práctica no existe una diferencia marcada entre Producción más Limpia y Prevención de la Contaminación (INE, 2000).

En la Ley de Prevención de la Contaminación (1990), se estableció una jerarquía llamada Prevención de la Contaminación en la que como primera selección se tomaba la opción de reducción en la fuente. Esta jerarquía representa el cambio en la forma de pensar que ha ocurrido entre los años de la década de 1970 a la fecha. La solución de control de la contaminación que se tenía, ha sido reemplazada con el objetivo de reducir la generación de residuos, y donde la reducción es imposible, se elige el reciclado dentro o fuera del proceso. Como generalmente se define, la Prevención de la Contaminación incluye incremento de la eficiencia en el uso de materias primas, energía, agua y otros recursos. También incluye protección de los recursos a través de la conservación (Allen y Rosselot, 1997).

La EPA (1992) define a la Prevención de la Contaminación como cualquier práctica que reduzca la cantidad de cualquier sustancia peligrosa o contaminante, que de otra forma sería vertida o liberada en el ambiente, o reduzca los riesgos a la salud y al ambiente asociados con la liberación de tales sustancias. o reduzca o elimine la

generación de contaminantes a través de un uso más eficiente de las materias primas y de la protección de los recursos naturales.

El Ministerio Canadiense del Ambiente define la Prevención de la Contaminación como: "cualquier acción que reduzca o elimine la generación de contaminantes o residuos en su origen, lograda mediante actividades que promuevan, estimulen o exijan cambios en los patrones de conducta básicos de los generadores industriales, comerciales, institucionales o individuales". Esta definición enfatiza los cambios en los patrones de conducta e incluye a una diversidad generadores. La Comisión para la Conservación de Recursos Naturales de Texas, define a la Prevención de la Contaminación como un método para analizar y modificar procesos e insumos en un esfuerzo por minimizar cualquier salida que no sea producto terminado" Esta definición tiene un énfasis operativo de la herramienta que se concentra en un análisis de los insumos y los procesos (INE, 2000).

Actualmente, además de la jerarquía propuesta en la EPA, la literatura propone varias jerarquías para el manejo de residuos en las cuales los elementos son agrupados y nombrados por diferentes autores, mientras que las prioridades y objetivos son esencialmente los mismos (Anastas y Warner, 1998). Los elementos de la jerarquía pueden ser clasificados en orden descendente de prioridad, como sigue (Oldenburg y Geiser, 1997; Cagno *et al.*, 2005):

1. Reducción en la fuente.
2. Reciclado dentro del proceso de producción.
3. Reciclado en el mismo lugar de producción.
4. Reciclado en un lugar diferente al de producción.

5. Tratamiento para reducir su peligrosidad.
6. Disposición final segura para el medio ambiente.
7. Disposición directa en el ambiente.

Aunque la Prevención de la Contaminación ha existido por más de 20 años, la literatura no está completamente de acuerdo en la posición de la frontera entre la prevención de la contaminación y la de control de la contaminación, como se muestra en la figura 2.1. A cada nivel de aplicación, la Prevención de la Contaminación constituye el origen de una serie de metodologías que se han diferenciado a través del tiempo, desarrollando áreas particulares de evolución de eco-eficiencia. En la figura 2.2. se presenta el enfoque de varias metodologías para la Prevención de la Contaminación, resaltando cómo en la actualidad, la Prevención de la Contaminación en un sentido estricto, es aplicada al nivel de meso-escala, por ejemplo, dentro de la operación de una empresa (Cagno *et al.*, 2005).

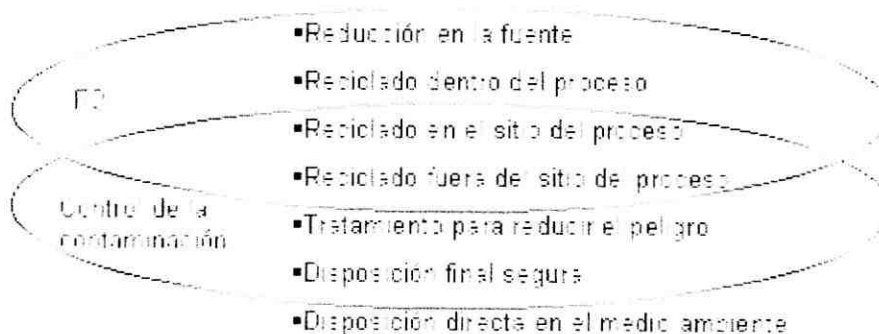


Figura 2.1. Posición de la frontera entre la Prevención de la Contaminación y el Control de la Contaminación (Cagno *et al.*, 2005).

Históricamente, se pueden identificar tres diferentes niveles de aplicación de la Prevención de la Contaminación para la mejora de un proceso, a los que hace referencia la figura 2.2. (Allen y Rosselot, 1997; Cagno *et al.*, 2005):

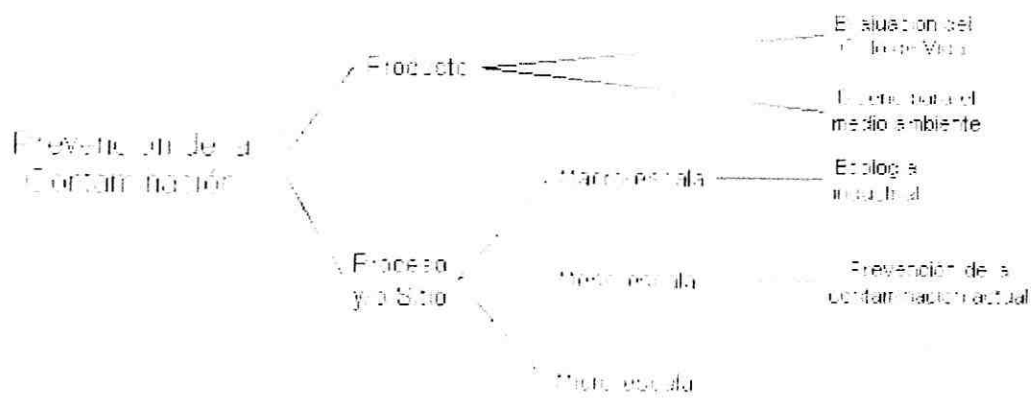


Figura 2.2. Evolución de las metodologías para diseñar y gestionar la eco-eficiencia, empezando desde la primera definición de la prevención de la contaminación (Cagno *et al.*, 2005).

1. Macro-escala, cuando el sistema de referencia para el análisis y mejora es un sector industrial dentro de un sistema económico.
2. Meso-escala, cuando el sistema de referencia es un proceso o unidad de producción.
3. Micro-escala, cuando el sistema de referencia es a nivel de interacciones moleculares.

Reducción en la fuente. El término reducción en la fuente se refiere a cualquier práctica en la cual se lleva a cabo la reducción del peligro, reducción de la cantidad de emisiones o sustancias contaminantes introducidas en el flujo de los residuos o liberadas al ambiente en cualquier otra forma, incluyendo fugas, antes de ser recicladas, tratadas o descargadas. Las técnicas utilizadas en la Prevención de la Contaminación para mejorar los procesos son esencialmente minimización de residuos y adopción de tecnologías más limpias. La primera significa reducir la contaminación en la fuente y utiliza oportunidades de reciclado, mientras que la segunda busca soluciones que usen menos materias primas, energía y agua, generen poco o ningún residuo o reciclen los residuos como materiales en un sistemas cerrado. La adopción

de tecnologías limpias puede ser descrita con referencia a cinco tipos de acciones (Bishop, 2000; Cagno *et al.*, 2005):

1. Mejorando operaciones en fábrica
2. Reciclado de residuos dentro del proceso
3. Modificación del proceso
4. Sustitución de materiales y productos
5. Separación de residuos

Reciclado dentro, en el sitio y fuera del sitio del proceso. Como la reducción en la fuente, el reciclado ofrece considerables oportunidades para limitar el impacto ambiental, incluso si éste frecuentemente incluye el uso de recursos por encima del mínimo posible, por lo que el reciclado está en un nivel más bajo en la jerarquía con respecto a la reducción en la fuente. La distinción entre reciclado dentro del proceso y reciclado en el sitio puede ser difícil debido a la confusa línea de división, ambas están en función de la definición de reciclado y del proceso, y en términos del diseño de planta (*lay out*) de los flujos de materiales dentro del proceso (Freeman, 1998). Una manera gráfica de explicar la clasificación del reciclado se presenta en la figura 2.3.

El reciclado de residuos, dentro de la planta de producción, provee beneficios no solo como resultado de la reducción de impactos ambientales (Anastas y Wamer, 1998). Cuando un material es definido como un residuo esto significa una pérdida en el procesamiento de las materias primas y de la energía, además se necesita una inversión para el control de la contaminación. Por lo que, aprovechando el flujo de residuos de un proceso para otro puede representar una mejor opción que tratar o dar

una disposición final a los residuos, además de realizar una mejora en la economía de toda la planta (Cagno *et al.*, 2005).

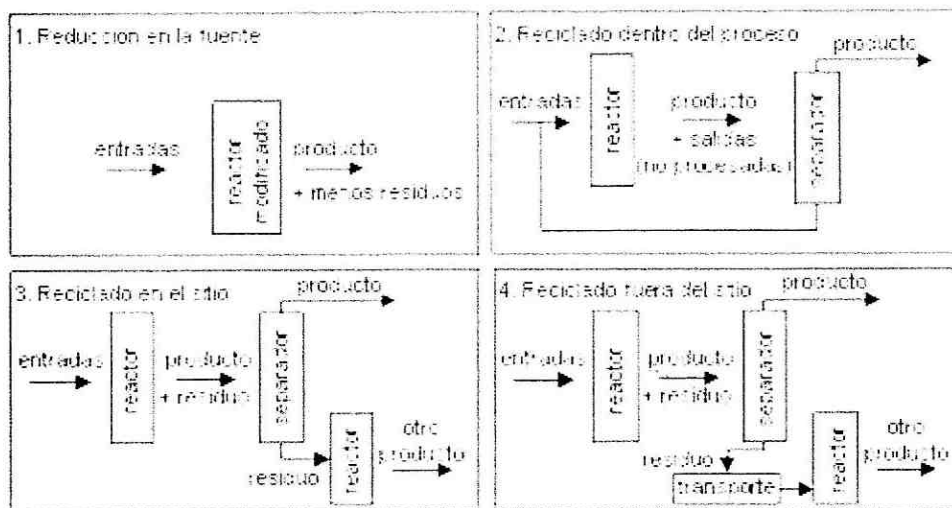


Figura 2.3. Ejemplo de la jerarquía para el manejo de un residuo aplicado a un reactor simple (Allen y Rosselot, 1997).

2.2.4. Indicadores del desempeño ambiental

Para determinar si existe un beneficio ambiental de la implementación de un cambio en el proceso, se requiere una medida del impacto ambiental del mismo. Uno de los retos de cualquier análisis ambiental es la identificación de una definición cuantitativa para el impacto ambiental (Eissen y Metzger, 2001).

La habilidad para monitorear el desempeño ambiental tiene muchas ventajas. Por ejemplo, para conocer el desempeño actual y definir objetivos ambientales. Esto permite la gestión enfocada a invertir dinero para corregir o mejorar un proceso para hacerlo más eficiente. Otras razones para incluir los indicadores ambientales en las decisiones de los administradores se fundamenta en que los indicadores pueden ayudar a monitorear el progreso hacia un objetivo en un periodo de tiempo; ayudar a

para cumplir la regulación; ganar ventajas competitivas sobre otras compañías mediante la optimización de operaciones internas, las cuales permiten cumplir más efectivamente la demanda de los consumidores y mejorar la reputación de la corporación para los inversionistas y aseguradores (Marteel *et al.*, 2003).

Para que cualquier indicador sea útil, se debe conocer el criterio específico. Primero, los datos deben estar disponibles y ser aplicables a través de varios sistemas, o instalaciones. Los indicadores deben ser simples para entenderse y usarse amigablemente. Los datos no deben requerir grandes cantidades o tiempo para reunirlos, y su recolección también debe ser rentable. Las compañías solo deben considerar indicadores que den resultados y que tengan la intención de usar. Los indicadores deben ser reproducibles y permitir la comparación de resultados. Frecuentemente, los datos deben ser normalizados, lo cual puede ser hecho mediante el uso de proporciones (DEC-MITPTBE, 1997; Fiksel, 1997; Marteel *et al.*, 2003).

Considerando lo anterior, los indicadores utilizados deben (Verfaillie y Bidwell, 2000):

1. Ser relevantes y significativos con respecto a la protección al ambiente y la salud humana, y/o mejorar la calidad de vida.
2. Informar a la alta gerencia para mejorar el desempeño de una organización.
3. Reconocer la inherente diversidad de empresas.
4. Mantener las referencias y monitoreo constantemente.
5. Estar claramente definidos, ser medibles, transparentes y verificables.
6. Estar basados en una evaluación global de las operaciones de la compañía, productos y servicios
7. Reconocer problemas relevantes y significantes relacionados con las entradas y salidas de las actividades de la compañía.

Consumo de energía. El consumo de energía es un problema relevante para todas las empresas de todos los sectores. El total de energía consumida es igual a la energía adquirida menos la energía vendida a otros para su uso. La definición relaciona únicamente la energía consumida y transformada en el sitio, lo cual significa que la compañía deberá reportar la cantidad de energía adquirida menos la energía utilizada, conservando como parte del consumo a las pérdidas por generación y transformación. Las compañías pueden reportar el uso de la energía de manera separada, identificando la energía renovable y desglosando los diferentes tipos de fuentes de energía como lo son el gas natural, el aceite y otros (Verfaillie y Bidwell, 2000).

La utilización de energía es más difícil de medir que el uso de materiales y casi siempre deber ser calculada para el proceso, y no para una reacción química. Una medida apropiada del consumo de energía es la cantidad de energía (kJ o BTU) por cantidad de producto en la salida de materiales (Schwarz *et al.*, 2002). En algunos cálculos, por ejemplo para el índice de sostenibilidad de un proceso, el requerimiento de energía es simplemente convertido a la cantidad de materias primas consumidas para producir la energía necesaria para operar el proceso. Esta conversión puede ser abarcada dentro del cálculo del indicador o puede ser un cálculo separado que es combinado dentro de una medida adicional del proceso total (Narodoslawki y Krotscheck, 2000).

Consumo de agua. El consumo de agua es la suma de toda el agua obtenida de diferentes fuentes, como redes de suministro de agua, aguas superficiales o subterráneas. La disponibilidad del agua es un problema mundial, aunque muchas áreas pueden no mostrar interés sobre su disponibilidad, el costo de generación de agua limpia se incrementa constantemente. El consumo de agua incluye el agua usada

para el enfriamiento, incluso si no hay contacto físico con los materiales de proceso (Verfaillie y Bidwell, 2000).

Consumo de materiales. Es la suma del peso de todos los materiales adquiridos u obtenidos de otras fuentes, tales como la extracción, incluyendo las materias primas para la conversión de productos, otros materiales de proceso (como catalizadores o solventes), y bienes semi o prefabricados (como partes de automóviles o computadoras). La desmaterialización es un requerimiento global para la sostenibilidad, la cual hace que el uso de materiales un problema general para todas las empresas. Los materiales incluidos en estos indicadores, excluyen agua y combustibles, los cuales son identificados por separado. Los materiales para empaque también se excluyen. Los materiales de empaque son claramente importantes, especialmente para industrias consumidoras (Verfaillie y Bidwell, 2000).

Uno de los indicadores más simples que se propone generalmente es la proporción de materiales incluidos en el producto, basado en la cantidad de materias primas consumidas. Este ha sido descrito como el índice de masa o la intensidad de material y puede ser calculado como (Schwarz *et al.*, 2002):

$$S = \frac{\text{masa del producto}}{\text{masa de las materias primas}}$$

Además del índice de masa, otro indicador del consumo de materiales es el "Factor-e", este factor considera la masa de material en el flujo de residuos, y se define como la cantidad de material del subproducto (residuo) relativa a la cantidad en el producto (Sheldon, 1997).

Emisiones de gases efecto invernadero. Estas emisiones incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), hidro y per-fluorocarbonos (HFC's, PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF₆); provenientes de la combustión del combustible, reacciones del proceso y tratamientos dentro del proceso. El cambio climático es un problema de interés mundial, y está relacionado con la emisión de gases efecto invernadero. Es importante para las empresas debido a que está estrechamente vinculado con las fuentes de energía (Verfaillie y Bidwell, 2000).

Sustancias que destruyen la capa de ozono. La emisión de estas sustancias como los Cloro fluorocarbonos (CFC's) es de interés mundial, fueron definidas en el Protocolo de Montreal, el cual enlista los grupos de gases que contribuyen a dicho efecto y describe su impacto potencial (Verfaillie y Bidwell, 2000).

2.3. Marco Jurídico de la Regulación Ambiental de la Industria en México

El 13 de diciembre de 1996 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación los decretos por los que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2004). En esta Ley se contemplan e incorporan principios bajo una visión mas amplia y comprensiva de la dinámica ambiental orientados hacia el Desarrollo Sostenible, tales como la inclusión de incentivos fiscales y económicos, incorporación de criterios y principios como "el que contamina paga", orientación de acciones hacia la prevención de la contaminación, mejora de la coordinación entre dependencias e incorporación del Producto Interno Neto Ecológico, que formaría parte del Sistema Nacional de Cuentas; todos éstos dentro del esquema de acciones para la formulación y conducción de la política ambiental (INE, 2000).

Además, con el objeto de regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución, control y descargas, así como la preservación de la cantidad y calidad para lograr el desarrollo integral sostenible, existe la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.(LAN, 2004).

Por otro lado, en Octubre del 2003 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2003), esta ley al igual que la LGEEPA y la LAN, se basan en el desarrollo sostenible, pero a diferencia de estas últimas, es la primera que incluye y obliga a las industrias a tener un manejo integral de residuos, mediante el uso de instrumentos llamados “Planes de Manejo”, que deben ser elaborados por los generadores de los residuos. En estos Planes de Manejo se contempla la prevención de la generación de residuos, el reciclado y el uso de coproductos (residuos de un proceso utilizado como materia prima de otro proceso).

Para cumplir adecuadamente con las estipulaciones que marcan las Leyes y los Reglamentos existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX), siendo las primeras de regulación directa y las segundas de referencia para la autorregulación; éstas normas son específicas para ciertas actividades que pudieran causar un impacto al ambiente (INE, 2000).

2.3.1. Políticas de Regulación Directa

Basada en un sistema de permisos o licenciamiento y la fijación de límites de emisión de contaminantes y condiciones mínimas de protección ambiental. Este es el sistema tradicional de comando-control. (Fijar condiciones, verificar y sancionar). Las

políticas de regulación directa incluyen las Normas Oficiales Mexicanas, el Programa de Inspección y Vigilancia de Fuentes de Contaminación Industrial, y el Esquema de Licenciamiento e Informe (Permisos, Autorizaciones y Reportes) (INE, 2000; Walls-Aurioles, 2000).

2.3.2. Políticas de Autorregulación

Actualmente en un intento de complementar y apoyar a la regulación directa, se ha constituido una política de autorregulación. Las bases de este tipo de política son los acuerdos particulares y/o con asociaciones industriales, sobre niveles de mejoramiento ambiental que se habrán de alcanzar. En general conllevan acuerdos para ir más allá de las disposiciones legales mínimas de desempeño ambiental. Entre las iniciativas de autorregulación promovidas por la SEMARNAT destacan las siguientes (INE, 2000; Walls-Aurioles, 2000):

- El Programa Voluntario de Gestión Ambiental (PVG)
- Las Auditorías Ambientales de PROFEPA
- Las Normas Voluntarias, establecidas a partir de iniciativas y programas concertados con la autoridad de protección ambiental en empresas o ramas industriales
- Los Convenios Voluntarios, que consisten en la implementación de programas de mejoramiento ambiental concertados entre la autoridad y empresas, asociaciones o cámaras de industriales que se comprometen a realizar acciones que conduzcan a un desempeño ambiental que rebase los parámetros establecidos en el marco de la normatividad ambiental.

2.3.3. Instrumentos Económicos y de Información Pública

Adicionalmente se han empezado a conceptualizar políticas de regulación inductiva que pretenden influenciar las actitudes y decisiones industriales hacia el ambiente mediante la aplicación de incentivos económicos y la distribución de información al público (comunidades) y mercados, cuyas decisiones y acciones pueden basarse en el derecho a la información. En general se busca de alguna manera internalizar los costos de las externalidades provocadas por la actividad industrial (INE, 2000).

Incentivos fiscales y arancelarios. Estos instrumentos son promovidos por la SEMARNAT, con la participación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y la Secretaría de Economía (SE). La promoción y evaluación de estos instrumentos es coordinada por la Dirección de Regulación Industrial perteneciente a la Dirección General de Regulación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. Actualmente están vigentes dos incentivos fiscales que tienen como objetivo principal apoyar la instalación de infraestructura que se traduzca en beneficio ambiental, los cuales son (INE, 2000; Walls-Aurioles, 2000):

- *Depreciación acelerada.* La SHCP ofrece este estímulo a los empresarios que adquieran activos fijos que reporten un beneficio ambiental, como inversión nueva. Con este incentivo se da oportunidad a que las empresas industriales puedan deducir en un solo año el monto de sus activos, con la disminución de la base sobre la que se grava el impuesto sobre la renta. Este instrumento se ajusta a lo definido en la LGEEPA (Art. 21, 22 , 22bis) y está contenido en la Ley del Impuesto sobre la Renta (LISR, 2004) (Art. 41, fracción XIV), donde se establece la posibilidad de una deducción fiscal del 100% en un solo año, cuando se adquieran o pongan en

operación equipos de prevención y control de la contaminación, aplica a todo tipo de industrias y opera a través de las declaraciones de impuestos que la empresa interesada lleva a cabo.

- *Arancel cero.* Cuando las industrias adquieran en el extranjero equipo de monitoreo, control o prevención de la contaminación podrán importarlo, al amparo de la fracción arancelaria No. 9806.00.04, sin pago de aranceles. El arancel cero se otorga a la importación de equipos cuya inversión, ajustándose a los lineamientos establecidos por la SE y SEMARNAT, reporte un beneficio ambiental y no se produzca competitivamente en México. Este instrumento significa un ahorro de entre el 15 y 20% para el importador y con él se pretende favorecer en el corto plazo la disponibilidad de equipo de monitoreo, prevención y control de la contaminación.

Certificado de Industria Limpia. Como parte de sus atribuciones la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), a través de la Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, promueve y practica la realización de un instrumento de política ecológica; la Auditoría Ambiental, cuyo objetivo es incentivar la decisión empresarial para proteger el ambiente en forma integral más allá de la legislación. La PROFEPA distingue con el Certificado INDUSTRIA LIMPIA a las empresas que voluntariamente participan en el programa y cumplen con el Plan de Acción derivado de la Auditoría Ambiental; de la misma forma, autoriza a las empresas certificadas a utilizar el logotipo en sus programas de comercialización, con el fin de inculcar en los consumidores el hábito de adquirir productos fabricados por industrias que observen prácticas de cuidado ambiental en sus procesos productivos (Walls-Aurioles, 2000).

El Certificado de Industria Limpia tiene el potencial de convertirse en el primer instrumento efectivo de este tipo promovido y reconocido oficialmente por la autoridad

ambiental, sin embargo no hay una política clara de impulso a los mercados verdes o al encadenamiento de proveedores. El certificado es actualmente solo representativo en los círculos industriales, pues la ciudadanía desconoce la existencia y en su caso el significado del certificado, y mucho menos tiene información para relacionar los establecimientos certificados con los productos que se ofrecen en el mercado que son fabricados con procesos que toman en cuenta el cuidado del ambiente (INE, 2000).

2.4. Esquemas de Financiamiento para la Producción Más Limpia

Actualmente, las políticas Nacionales e Internacionales, han promovido la creación de sistemas de financiamiento para proyectos industriales que tengan la finalidad de prevenir la contaminación. En México, las compañías pueden acceder a los siguientes esquemas de financiamiento:

- Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación (FIPREV). Sustentado por Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de tecnología en la pequeña y mediana empresa, A. C. (FUNTEC) con aportaciones de la CCAAN y del Consejo de Cámaras Industriales, tiene como objetivo otorgar créditos a pequeñas y medianas empresas para financiar acciones de prevención de la contaminación. Los montos son de hasta \$ 200,000 para estudios de evaluación ambiental y \$ 560,000 para proyectos de prevención o equipamiento (CCAAN, 2002; FUNTEC, 2005).
- Nacional Financiera (NAFIN). mantiene una línea de créditos enfocada al control de la contaminación atmosférica. Los fondos son otorgados tanto en dólares (cuando la empresa realiza cotizaciones en dólares o utiliza mecanismos de escudo cambiario) como en moneda nacional. El monto máximo de financiamiento se determina en función del tamaño de la empresa (Micro US \$170mil, Pequeña US \$1.7 millones,

Mediana US \$4 millones) y de las características del proyecto. El financiamiento pueden ser de hasta el 100% de los créditos que los intermediarios financieros otorguen a las empresas. El plazo es de hasta 20 años incluyendo el período de gracia que el proyecto requiera, dependiendo de la capacidad de pago de la empresa (Pratt *et al.*, 2003).

- Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE). El FIDE brinda apoyo técnico y financiamiento, y sirve también como contraparte en fondos de garantías, para impulsar el uso de equipos eficientes para lograr ahorros de energía, particularmente en Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), si bien su trabajo no se limita a éstas. Lo que se busca principalmente es que las inversiones realizadas por las empresas se “paguen solas”, con las disminuciones que se dan en la facturación eléctrica producto de los cambios a equipos eficientes y modernos. El FIDE se asegura de brindar los recursos iniciales para que las empresas cuenten con el capital para adquirir los equipos (pagándole a las redes de distribuidores autorizados o bien a los bancos comerciales con garantías), y luego realiza el monitoreo y control para recuperar la inversión (Pratt *et al.*, 2003).

2.5. Fundición

Al igual que todos los procesos industriales, los pertenecientes a la rama siderúrgica producen impactos negativos al ambiente. Dentro de ésta clasificación se encuentran las empresas de la fundición, dedicadas a producir piezas u objetos útiles con metal fundido. Este proceso consiste en vaciar metal fundido en un recipiente con la forma de la pieza u objeto que se desea fabricar y esperar a que se endurezca al enfriarse. El sector de productos metálicos, maquinaria y equipo es considerado uno de los más dinámicos de la economía, debido a que la construcción de infraestructura

nacional depende en gran medida de esta industria que es, por mucho, un sector estratégico para el desarrollo del país (COECYT, 2003).

La ventaja de la fundición frente a otros procesos de la transformación de metales, consiste en poder producir una variedad de piezas con perfiles internos y/o externos complejos de manera económicamente rentable. Los tipos de procesos de las fundiciones de Hierro, Acero y Hierro dúctil, así como de la fundición de metales no ferrosos se diferencian entre sí en las técnicas de fundición y los residuos generados, así que se comentan separadamente en capítulos describiendo las técnicas de los procesos, los residuos generados y la minimización de los mismos (CAM-SACT, 1996).

La estructura nacional de la industria de la fundición y maquinado nacional para 1998 ascendió a 14,280 unidades, de las que 12,938 son micro empresas, 856 son pequeñas, 453 son medianas y 33 son grandes empresas (INEGI, 2004b).

Las empresas de Fundición de Hierro, Acero y Hierro dúctil utilizan principalmente moldes desechables de acuerdo al proceso de fundición con moldeo de arena, con recuperación parcial de las arenas gastadas de la fundición. Para el moldeo y vaciado de metales ferrosos se aplican principalmente procesos de moldeo de arenas, así como procesos de fundición de inyección. Los procesos de fundición de colada continua y fundición de lingotes se usan solo esporádicamente (CAM-SACT, 1996).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Empresa denominada Fundidora Auxiliar Metalúrgica S.A. de C.V., ubicada en Lerdo de Tejada y Guanavecí sin número, en el Parque Industrial Lagunero, en la ciudad de Gómez Palacio, Durango; durante el periodo comprendido entre los meses de Agosto a Noviembre del año 2005.

La Metodología para la Prevención de la Contaminación que se empleó estuvo integrada por cuatro fases (DEC-MITPTBE, 1997; Fiksel, 1997; Freeman, 1998; WBG-UNEP, 1999; Bishop, 2000; CMPL, 2005), las cuales se describen a continuación:

Fase 1. Evaluación Previa.

Se realizó un análisis completo del proceso productivo de la empresa, mediante la elaboración del diagrama de flujo del proceso general y el balance de materiales. Los datos se obtuvieron de todas las fuentes posibles, tanto de informes reglamentarios, como de auditorías ambientales; datos técnicos y de procedimientos; registros empresariales de la planta tales como inventarios, compras, laboratorio, embarques de residuos, composición de los productos, hojas de lote y control de calidad. Para complementar los datos se hicieron visitas *in situ*. Las prioridades que se marcaron en esta fase sirvieron como guía para seleccionar las áreas en que se necesitaba una evaluación pormenorizada.

Fase 2. Evaluación pormenorizada

Se buscaron fuentes de información adicionales a las utilizadas en la evaluación previa, así como visitas *in situ*, entrevistas a operarios, supervisores y jefes de trabajo. Se observó la operación en diferentes momentos, en particular cuando la generación de desechos depende en gran medida de la participación del personal.

El análisis de la información sobre el proceso implicó preparar balances de materiales como medio para analizar las fuentes de contaminación y las oportunidades para eliminarlas. Dicho balance de material se planteó de la siguiente manera (de acuerdo con el principio de conservación de la masa):

$$\text{Masa que entra} = \text{Masa que sale} - \text{Generación} + \text{Consumo} + \text{Acumulación}$$

Fase 3. Definición de las Opciones de Prevención de la Contaminación.

Esta fase consistió en dos pasos: la propuesta de las opciones de Prevención de la Contaminación, y la selección de opciones prioritarias.

Fase 4. Análisis de Factibilidad

Las opciones de Prevención de la Contaminación seleccionadas se examinaron para determinar cuáles son factibles desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. La evaluación técnica se llevó a cabo para determinar si es posible que una opción de Prevención de la Contaminación funcione para una determinada aplicación. La evaluación ambiental se elaboró comparando las ventajas y desventajas ambientales de cada opción con respecto al medio ambiente. La evaluación económica consistió en el cálculo de los costos y beneficios de cada una de las opciones de Prevención de la Contaminación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Además de la jerarquía establecida por la EPA, se tomaron en cuenta las siguientes prioridades para la selección de las oportunidades de Prevención de la Contaminación a evaluar: el cumplimiento de los reglamentos ambientales, los costos por manejo de desechos, la posible responsabilidad legal por el medio ambiente y la seguridad, las propiedades de los desechos (toxicidad, inflamabilidad, corrosividad y reactividad), otros riesgos de seguridad para los empleados, la capacidad para prevenir la contaminación y la capacidad para recuperar subproductos valiosos (EPA, 1992; DEC-MITPTBE, 1997; Fiksel, 1997; Oldenburg y Geiser, 1997; Anastas y Warner, 1998; Coronado-Maldonado y Oropeza-Monterrubbio, 1998; Freeman, 1998; Bishop, 2000; Cagno *et al.*, 2005).

Las oportunidades evaluadas se plantean a continuación como **Proyectos para la Prevención de la Contaminación**, por ser actividades específicas que se realizan para eliminar o reducir desechos (Freeman, 1998).

La evaluación de cada proyecto incluyó lo siguiente:

- Situación actual del sistema
- Descripción del proyecto propuesto
- Capacidad para prevenir la contaminación
- Tiempo estimado de instalación y arranque
- Evaluación costo-beneficio

- Medidas de desempeño que permitan evaluar el proyecto
- Recursos necesarios y la forma en que pueden obtenerse.

4.1. Manejo Integral de Residuos

Situación Actual. Los principales residuos generados en la empresa donde se lleva a cabo dicho proyecto se presentan en el cuadro 4.1, la clasificación del tipo de residuo corresponde a lo especificado en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2003) y la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2001 (DOF, 2002).

Los residuos considerados de manejo especial se almacenan en el patio de la planta ubicado al poniente, a la intemperie, directamente en el suelo natural y sin techado. No se realiza ninguna separación de estos residuos y los finos de los equipos de control de emisiones caen directamente de dichos equipos al suelo, sin contar con algún sistema de almacenamiento o control, estos residuos se dispersan por todo el patio.

El 100 % de los residuos considerados como peligrosos, se dispone inadecuadamente, ya que éstos se mezclan con otro tipo de residuos, lo que está prohibido por la ley. No deberían venderse a menos de que se les de un tratamiento previo y este tratamiento debe estar autorizado por la SEMARNAT (Art. 54, 55 y 57; LGPGIR), además de la falta de la bitácora de generación, que deben tener por ser grandes generadores, ya que producen más de 10 toneladas por año (Art. 5 Fracc. XX y 47; LGPGIR).

Cuadro 4.1. Residuos generados en la empresa, cantidad generada, área generadora y disposición actual

Residuo	Generación mensual	Área generadora	Disposición actual
Residuos de Manejo Especial			
Escoria	2.6 toneladas	Fusión	Relleno terreno ¹
Finos	9.1 toneladas (45 m ³)	Casas de sacos	Relleno terreno ¹
Gruesos	2 toneladas	Sistema de recuperación de arena	Relleno terreno ¹
Pedacería metálica	2.7 toneladas	Sistema de recuperación de arena	Relleno terreno ¹
Residuos Peligrosos			
Material impregnado con aceite y aceite de purga de compresores	¼ tanque 200 L	Mantenimiento	Almacén
Recipientes vacíos de catalizador	10 piezas Tanques 200 L	Moldeo	Venta
Recipientes vacíos de resina	24 piezas Tanques 200 L	Moldeo	Venta
Recipientes vacíos de pegamento en frío	500 piezas Recipientes 1 L	Moldeo	Junto con Residuos Sólidos, Tiradero Municipal ²
Recipientes vacíos de pintura de zirconio	11 piezas Tanque 200 L	Moldeo	Almacén
Recipientes vacíos de desmoldante	1 pieza Cubeta 19 L	Moldeo	Almacén
Recipientes vacíos de alcohol isopropílico	5 piezas Tanques 200 L	Moldeo	Almacén

¹ Ejido

² Municipio de Gómez Palacio, Durango

Existe un almacén temporal de residuos peligrosos dentro de la empresa, pero este no cumple con todas las especificaciones señaladas en el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos, ya que carece de muros de contención, fosas de retención, sistemas de extinción contra incendios, ni con los señalamientos que hagan referencia a la peligrosidad de los residuos almacenados, además de no estar registrados ante la SEMARNAT como empresa generadora de residuos peligrosos (R_LGEEPA_MRP, 1988).

De todas las áreas que generan residuos, el área de moldeo es la principal generadora de residuos peligrosos, mientras que los residuos generados en el sistema

de recuperación de arena y los finos de los equipos de control de emisiones representan el 84% de los residuos de manejo especial.

Proyecto Propuesto. Se propone un Manejo Integral de Residuos, es decir, su separación, reutilización, reciclaje, tratamiento, almacenamiento, transporte y disposición final del residuo, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (Art.5 Fracc. XVII; LGPGIR), con el objetivo primario de cumplir con la legislación actual y futura.

A continuación se describen los puntos de manera priorizada para la realización del presente proyecto:

1. Registrarse ante la SEMARNAT como empresa generadora de residuos peligrosos, para lo cual es necesario los datos generales de la empresa, nombre, dirección, representante legal, caracterización y generación aproximada de los residuos peligrosos, estos datos se vaciarán en el formato establecido por la Secretaría.
2. Habilitar el actual almacén temporal de residuos peligrosos de acuerdo a lo estipulado en el artículo 15 del R_LGEEPA_MRP, instalando las fosas de retención y canaletas, equipo extintor contra incendios, y los señalamientos necesarios.
3. Evitar disponer los envases vacíos de pegamento junto con los residuos sólidos, así como evitar vender los recipientes vacíos de resina, catalizador y pintura, en ambos casos darles la disposición adecuada junto con los demás residuos peligrosos.
4. Implementar el uso de bitácoras de generación de residuos peligrosos, nombrar en cada área generadora un responsable que lleve el control de la bitácora y registre cada ocasión que se lleven los residuos al almacén; el encargado de medio ambiente de la empresa deberá llevar una bitácora central de todos los residuos

generados en las diferentes áreas, lo cual deberá coincidir con lo reportado en los manifiestos de transporte, entrega y recepción de residuos peligrosos. En el cuadro 4.2 se presenta un ejemplo de bitácoras, con la información mínima requerida para el registro de generación de los residuos peligrosos.

5. Colocar en las áreas generadoras de residuos peligrosos, contenedores para su disposición antes de ser llevados al almacén temporal.
6. Contratar el servicio de empresas autorizadas por la SEMARNAT y la SCT para el transporte de residuos peligrosos, para que estos residuos sean dispuestos o tratados por empresas autorizadas por la SEMARNAT.

Cuadro 4.2. Ejemplo de una bitácora de generación de Residuos Peligrosos

NOMBRE DE LA EMPRESA					
BITÁCORA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS					
FECHA	AREA GENERADORA	CANTIDAD GENERADA	DESTINO	NOMBRE Y FIRMA ENTREGA	NOMBRE Y FIRMA RECIBE
<div style="border-top: 1px solid black; margin-top: 10px; text-align: left; padding-left: 20px;"> NOMBRE DEL RESIDUO </div>					

7. Control de los Finos de las Casas de Sacos. Proveer a las casas de sacos de contenedores adecuados para el almacenamiento de los finos que descargan por

las tolvas, se propone el uso de “super-sacos”, los cuales son fáciles de manejar y controlan de manera aceptable un material como los finos.

8. Delimitar el área de disposición de residuos de manejo especial, así como separarlos. Para esto se propone conservar el área actual (13 m x 6 m) ubicada en patio oeste, solo delimitarla con muros de 1 m de alto esto de acuerdo al volumen generado, con secciones para cada tipo de residuo.

Capacidad para Prevenir la Contaminación. El manejo de los residuos peligrosos de acuerdo a lo establecido en la legislación aplicable, asegura que estos no serán liberados sin ningún control al ambiente, en este caso, sus características tóxicas e inflamables les confiere la posibilidad de ocasionar efectos adversos a la salud humana y al ambiente, por lo que representan un riesgo (INE, 1999). Además de asegurar el cumplimiento futuro de la legislación ambiental, ya que en términos de la LGPGIR, a principios del año 2006, todas las empresas generadoras de residuos de manejo especial, tendrán que contar con un Plan de manejo Integral de Residuos, aprobado por la Secretaría del Medio Ambiente del estado al que se pertenezca.

Con respecto al uso de las bitácoras de generación de residuos peligrosos, además de cumplir con la legislación, así como el hecho de que existan encargados en las distintas áreas, es una forma de compartir la responsabilidad en el manejo de residuos, creando una mayor conciencia entre los empleados.

El delimitar el área de disposición de los residuos de manejo especial y el control de los finos provenientes de las casas de sacos asegura que estos no se dispersen en el ambiente por la acción del viento, disminuyendo la cantidad de Partículas Suspendidas Totales (PST) en el aire ambiente y evitando que se

distribuyan por todo el patio como sucede actualmente, esto en base al único estudio perimetral que se ha efectuado en la empresa en el cual los resultados sobrepasaban el límite máximo permisible de PST especificados en la Norma Oficial Mexicana NOM-024-SAA-1993, que establece el valor permisible para la concentración de PST en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, el cual es de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 24 horas, y los valores promedio obtenidos fueron de 390 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El clasificar los residuos de manejo especial permitirá buscar posibles oportunidades para su valorización.

Instalación y arranque. El darse de alta ante la SEMARNAT como empresa generadora de residuos peligrosos es un trámite que no requiere más de una semana, este podrá realizarlo el encargado del medio ambiente.

La correcta habilitación del almacén temporal de residuos peligrosos requiere obras de construcción de las fosas y las canaletas, el tiempo estimado para ello es de 15 días, se deberá contratar a una empresa constructora. En cuanto a la señalización y al equipo extintor contra incendios solo se requiere su adquisición, la empresa proveedora se puede encargar de su instalación.

El control de los finos de las casas de sacos requiere de la compra de los supersacos. Para la delimitación del área destinada a los residuos de manejo especial, el tiempo requerido para la construcción de los muros es de 15 días.

En cuanto a los cambios en el manejo de los residuos peligrosos y de manejo especial, se debe dar capacitación a todos los trabajadores, desde operarios hasta supervisores y personal de laboratorio. La empresa evaluada cuenta con una planta

laboral de 140 empleados, se recomiendan separarlos en grupos de 10 personas aproximadamente, de acuerdo al área donde laboren. La capacitación deberá impartirla el encargado de medio ambiente, debe incluir la importancia de la preservación del medio ambiente, los alcances y la importancia del proyecto del Manejo integral de Residuos (cómo previene la contaminación), y los procedimientos específicos que se seguirán. Se deberá nombrar en colaboración de los supervisores y los trabajadores de cada área al encargado de llevar la bitácora de generación de residuos peligrosos del área.

El tiempo de implementación de este proyecto dependerá de la capacitación, suponiendo 14 grupos de trabajadores aproximadamente, en pláticas de no más de 1 hora de duración, se podrá realizar en el lapso de una semana, previa programación de las pláticas.

No se supone la inmediata aceptación de este proyecto, pero será más rápida si se lleva una evaluación constante, y todas las partes relacionadas cumplen con sus tareas asignadas.

Evaluación costo-beneficio. En cuanto al manejo de los residuos peligrosos, hasta el momento la empresa no ha sido sancionada por la autoridad competente por el constante incumplimiento de la legislación aplicable. En el cuadro 4.3 se resumen los resultados de la evaluación costo-beneficio del Proyecto de Manejo Integral de Residuos.

Medidas del desempeño del Proyecto. Además del cumplimiento legal, los posibles indicadores a utilizar para evaluar el presente proyecto una vez implementado, deberán

basarse en la información registrada en las bitácoras, las cantidades de compra de materias primas como la resina, catalizadores y pegamento deben coincidir con lo registrado en los embarques de los residuos peligrosos, además de evitar posibles multas, aunque hasta el momento no se han dado estas.

Cuadro 4.3. Evaluación costo-beneficio del Proyecto de Manejo Integral de Residuos

Costo Actual	Costo de Implementación	Beneficio por implementación
Residuos Peligrosos		
De seguir con el manejo que se le da actualmente a los residuos peligrosos, la empresa podrá ser acreedora de multas o sanciones, como clausura temporal total o parcial de las instalaciones, arresto administrativo, (Art. 104 y 112; LGPGIR), o pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días multa (Art. 414; Código Penal Federal).	Alta ante SEMARNAT como generador de Residuos Peligrosos: Gratuito	Cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, evitando multas y asegurando la protección al ambiente. Facilita la obtención del Certificado de Industria Limpia, por lo que se ingresó al Programa de Auditorías Voluntarias, en el mes de mayo del presente año.
Como parte del programa de auditorías voluntarias de la PROFEPA, a la que la empresa ha ingresado, se ha invertido 85,000 en septiembre del 2000 y \$50,000 en mayo de este año.	Habilitación del almacén temporal de residuos peligrosos: \$7,000	
Se obtienen mensualmente un aproximado de \$3,000 de la venta de los tanques usados de 200 L	Servicio de recolección y transporte autorizado ▪ Tanques 200 L: \$ 500 mensuales ▪ Recipientes de pegamento: \$800 mensuales ▪ Aceite usado y material impregnado: \$300 cuatrimestre	
Residuos de Manejo Especial		
El costo por disposición actual es de \$3,500 mensuales.	Delimitación del área con muros de 1 m de alto: \$5,000	La separación permitirá valorizar los residuos, los beneficios económicos se analizarán al implementar dichos proyectos, disminuirá la presencia de PST en el ambiente laboral y perimetral, cumpliendo con la legislación.
	Supersacos: \$4,000 mensuales	
	Costo por disposición: \$3,500	

Para la evaluación del desempeño en el Manejo Integral de los residuos de manejo especial, deberá ser notorio inmediatamente después de implementar el proyecto un cambio en la imagen del patio localizado al poniente de la planta, donde se

disponen estos residuos. Estos podrán ser cuantificados y al segregarlos se podrán buscar opciones para su reutilización o reciclado.

4.2 Control de Emisiones a la Atmósfera

Situación Actual. La empresa tiene dos fuentes principales de emisiones a la atmósfera, las emisiones provenientes del horno de fusión, y las generadas en los equipo de control de las emisiones de partículas, específicamente del sistema de recuperación de arena proveniente del desmoldeo y las partículas de las máquinas granalladoras. El horno no cuenta con un sistema de control de partículas, estas son emitidas directamente a la atmósfera y al ambiente laboral. En términos del Artículo 111 bis de la LGEEPA y del Artículo 17 Bis, Sección D, Fracción XIX del Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera (R_LGEEPA_MPCCA), la empresa por la naturaleza de su proceso es una fuente fija de jurisdicción federal (LGEEPA, 2004; R_LGEEPA_MPCCA, 2004). En virtud de lo anterior, la empresa está obligada a emplear equipos y sistemas que control de emisiones a la atmósfera, medir éstas emisiones, integrar un inventario de las mismas, instalar plataformas y puertos de muestreo, canalizarlas a través de ductos o chimeneas de descarga, y llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control (Art. 17 y 23; R_LGEEPA_MPCCA).

Todas las especificaciones anteriores establecidas en la legislación actual no se cumplen, ya que la casas de sacos no cuentan con los ductos en las salidas de los gases limpios y como se mencionó el horno no cuenta con campana de extracción, ni equipo de control, ni chimeneas, por lo tanto, en ambos casos es imposible el análisis

de las emisiones a la atmósfera, se desconoce la calidad de estas y no se cuenta con los registros solicitados en la legislación.

Según Wark y Waner (1998) y Alley (2001), el coeficiente de las emisiones provenientes de la fundición de hierro y acero en un horno de inducción es de 3 kg por tonelada de metal fundido. Estas emisiones consisten en partículas de óxidos de hierro, humo, polvos aceitosos y vapores metálicos, además de partículas que dependen de las ferroligas agregadas como partículas de zinc, níquel y cromo; el tamaño de estas partículas va de 0.001 a 100 micrómetros (EPA, 1992; Wark y Warner, 1998; WBG-UNEP, 1999; Alley, 2001).

Proyecto Propuesto. Para cumplir con todas las especificaciones legales referentes a las emisiones de fuentes fijas de jurisdicción federal, se propone instalar chimeneas a través de las cuales se descargue el aire de las casas de sacos a la atmósfera, de esta manera se podrán instalar los puertos de muestreo necesarios para medir las concentraciones de contaminantes que se estipulan en la ley para este tipo de fuentes fijas. Para el diseño de las chimeneas no existen regulaciones mexicanas, generalmente se utilizan criterios internacionales, en este caso se utilizaron los criterios propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, titulados Buenas Prácticas de Ingeniería. Para la ubicación de los puertos y las plataformas de muestreo de las chimeneas se considera lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-009-1993-SCFI, "Contaminación atmosférica. Fuentes fijas - Determinación de un flujo de gases en un conducto por medio de tubo de Pitot". En la figura 4.1 se presenta las consideraciones para el diseño de las chimeneas de acuerdo a lo establecido por la Norma Mexicana NMX-AA-009-1993-SCFI.

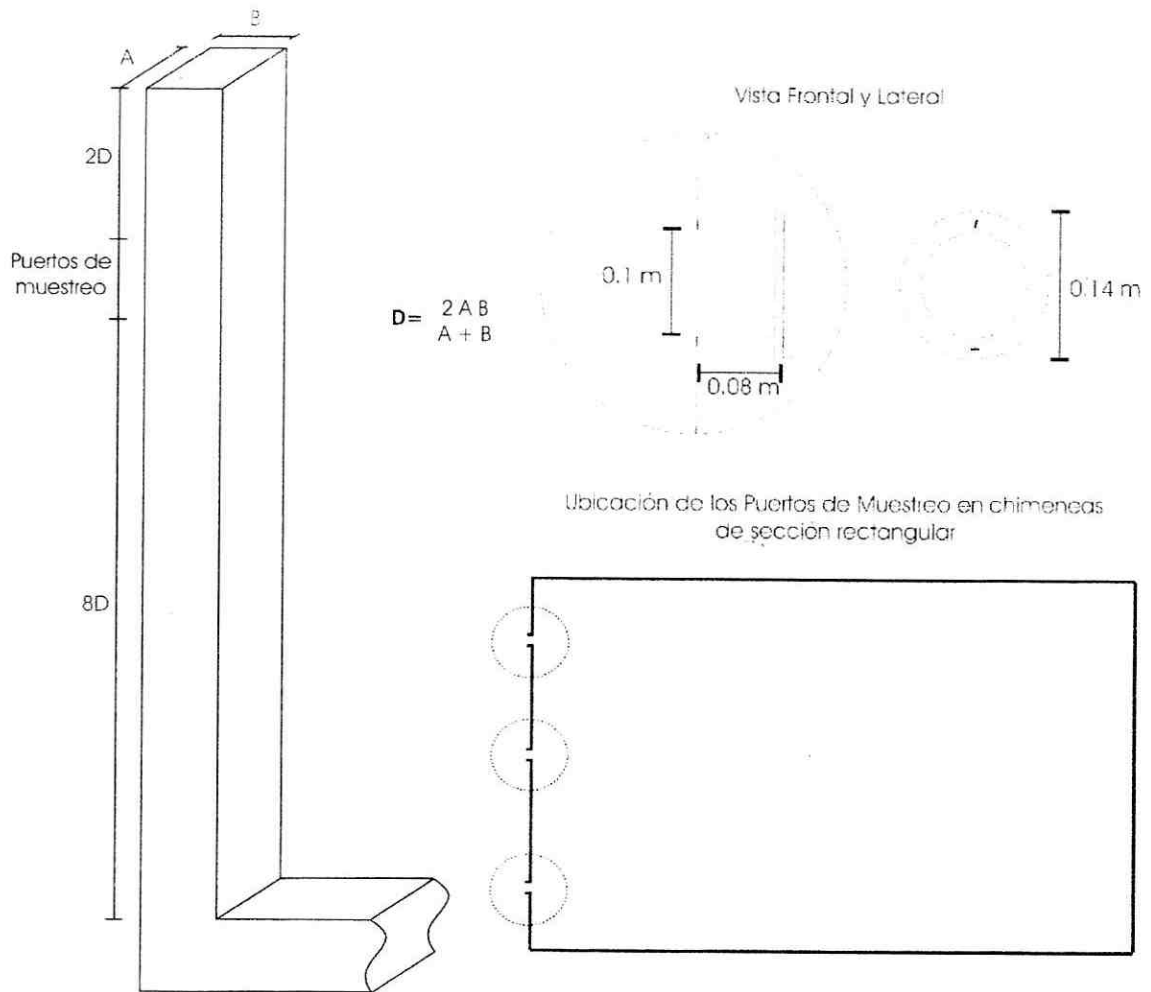


Figura 4.1. Ubicación, vista frontal y lateral de los puertos de muestreo en la chimenea, de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-009-1993-SCFI

Para el horno de fusión se propone un sistema completo de control de emisiones, para esto es necesario instalar una campana de extracción tipo dosel, como se presenta en la figura 4.2, utilizada en procesos que emiten contaminantes calientes, por ser más ligeros que el aire (Alley, 2001), además es necesario instalar los ductos de los gases que los han de conducir al equipo de control de contaminación, y el ventilador o extractor que ha de impulsar estos gases. Para el control de la contaminación se propone un colector de polvos centrífugo (Wark y Warner, 1998). Para el diseño de este equipo se tomó en cuenta las características físicas del área, así como el tipo de emisiones generadas en este proceso, según la

literatura citada, ya que no existen análisis de estas emisiones. En la figura 4.3 se presenta la ubicación propuesta para el sistema de control de las emisiones del horno.

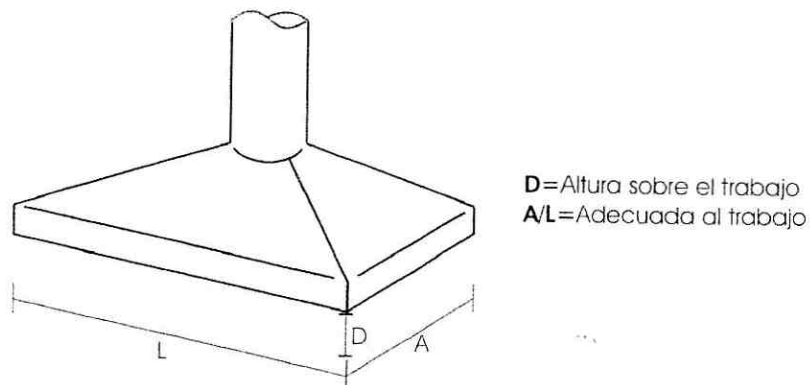


Figura 4.2. Campana tipo dosel

Capacidad para Prevenir la Contaminación. La instalación de las chimeneas en las casas de sacos mejora la dispersión de las emisiones en la atmósfera por la acción del viento (Nevers, 2000).

Las emisiones generadas en el proceso de fusión, material particulado de 0.001 a 100 μm , disminuye la visibilidad, el humo y el polvo tienen efectos sobre la salud humana, puede causar enfermedades crónicas del sistema respiratorio en una exposición constante, destrucción de la vida vegetal y efectos sobre el clima (Wark y Warner, 1998; Nevers, 2000); al controlar estas emisiones se evitaban los efectos mencionados.

En ambos casos, en el sistema de control de emisiones del horno y de las chimeneas de las casas de sacos, llevar un registro de las emisiones (muestreos isocinéticos, monitoreo regular del flujo de gases, cantidad de material colectado) sería

el primer paso para la evaluación del sistema, y posteriormente buscar opciones de Prevención de la Contaminación.

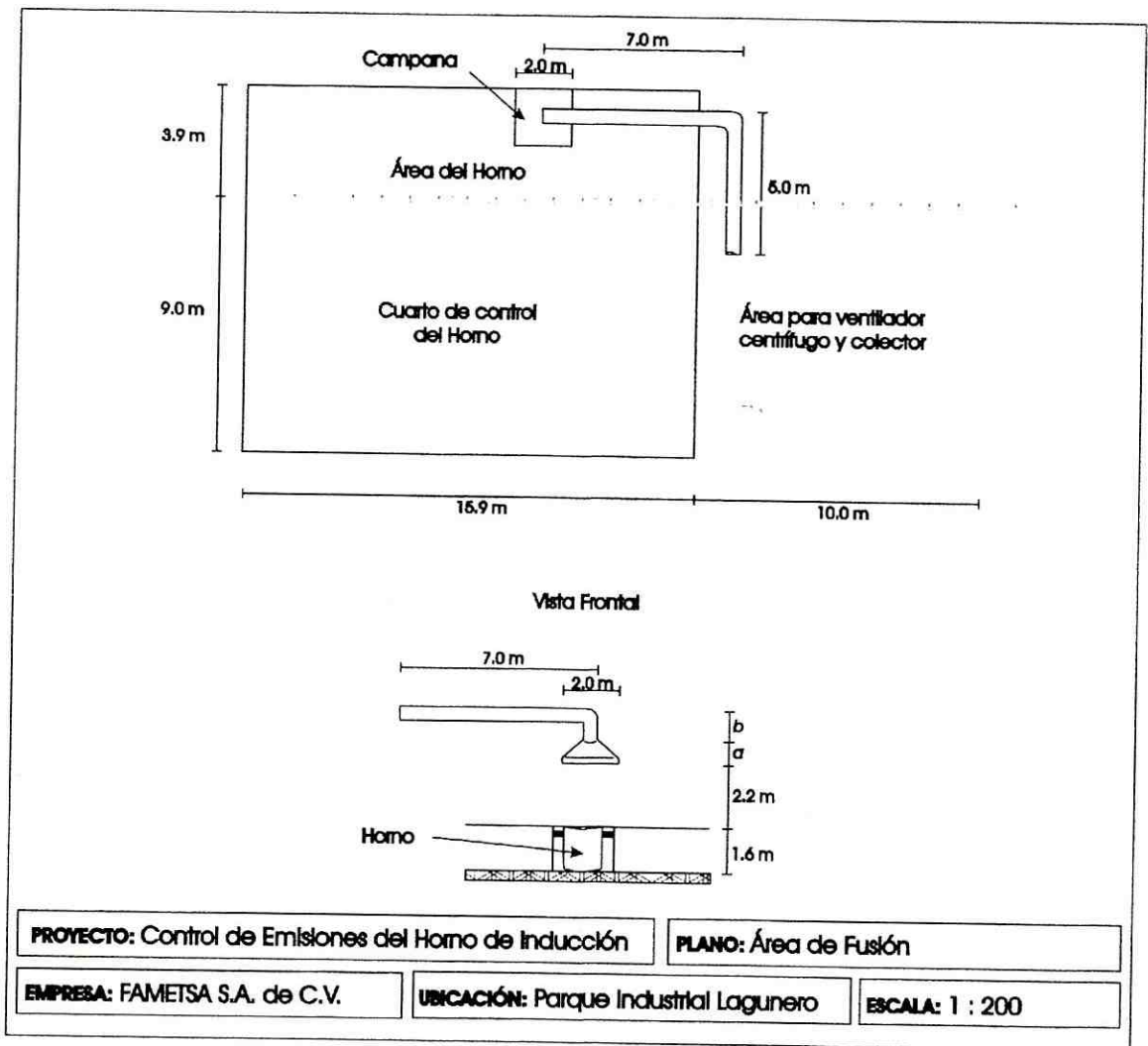


Figura 4.3. Ubicación del Sistema de Control de Emisiones en el área de Fusión

Instalación y arranque. Para la instalación de las chimeneas y del sistema de control de emisiones del horno se ha contemplado su instalación en el término de un mes, a partir de la orden de compra, de acuerdo a las cotizaciones realizadas.

Además, se debe implementar un programa de monitoreo ambiental para cumplir con el registro de las emisiones, establecido en la ley, los cuales se deben

incluir en la Cédula de Operación Anual de la empresa para su reporte ante la autoridad ambiental. Este monitoreo se realiza una vez al año por fuente fija.

Evaluación costo-beneficio. En el cuadro 4.4 se resume la evaluación costo-beneficio para el Proyecto de Control de Emisiones a la Atmósfera.

Cuadro 4.4. Evaluación costo-beneficio del Proyecto de Control de Emisiones a la Atmósfera

Costo Actual	Costo de Implementación	Beneficio por implementación
De no instalarse las chimeneas ni el sistema de control de emisiones, la empresa podrá ser acreedora de multas o sanciones, como una multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal; clausura temporal o definitiva, parcial o total; arresto administrativo hasta por treinta y seis horas (Art. 46; R_LGEEPA_MPCCA); o pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días multa (Art. 415; Código Penal Federal).	Sistema de Control de Emisiones del Horno (equipo e instalación): \$150,000	Cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, evitando multas y asegurando la protección al ambiente.
La inversión en el programa de auditorías voluntarias considerado en el Proyecto de Maneo Integral e Residuos también contempla el rubro de control de contaminación del aire.	Instalación de Chimeneas con plataformas (cuando sean necesarias) y puertos de muestreo en las 5 casas de sacos: \$40,000	Facilita la obtención del Certificado de Industria Limpia, por lo que se ingresó al Programa de Auditorías Voluntarias.
Del año 2000 a la fecha la Secretaría del Trabajo y Previsión Social ha multado a la empresa por \$3,759, por no contar con estudios actualizados de aire ambiente (atmósfera laboral).	Monitoreo de emisiones: \$60,000 (anual)	El monitoreo servirá para la posterior evaluación de la eficiencia de los equipos de control de emisiones utilizados en la empresa.
	Monitoreo perimetral: \$10,000 (anual)	

Medidas del desempeño del Proyecto. Una vez instalado el equipo deberá efectuarse el primer monitoreo, ya que la Cédula de Operación Anual se debe entregar entre el 1° de Enero al 30 de Abril de cada año (R_LGEEPA_MPCCA, 2004). Las concentraciones de partículas registradas en los monitoreos de las emisiones y el monitoreo perimetral serán los indicadores iniciales del desempeño del proyecto.

4.3 Disminución del uso de resina en el área de moldeo

Situación Actual. Como se presentó en el cuadro 4.1, el área de moldeo es la principal generadora de residuos peligrosos, esto se debe a la diversidad de materias primas consumidas, ya que las de mayor consumo son materiales peligrosos, por lo que los recipientes vacíos de estos recipientes se consideran residuos peligrosos, según lo establece la LGPGIR y la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2001.

Según el balance de materiales realizado, se consumen mensualmente 250 toneladas de arena con aglutinantes, de estas 250 toneladas, 8.6 toneladas son de resina fenólica, 3.5 toneladas son de catalizador y 20 toneladas son de arena nueva, el resto es la arena que proviene del sistema de recuperación de arena, como lo muestra la figura 4.4.

La arena usada que entra al sistema de recuperación de arena en algunas ocasiones recibe un tratamiento térmico, el cual consiste en colocar la arena usada en una cama de quemado que funciona con gas natural, este tratamiento sirve para eliminar por combustión los restos de resina y catalizador que contiene la arena, de esta manera se disminuye la generación de gruesos (pedazos aglutinados de arena), y al reciclarla en moldeo la proporción de resina usada es menor.

El tratamiento térmico no se realiza en forma constante, solo se realiza al 30 % de la arena usada.

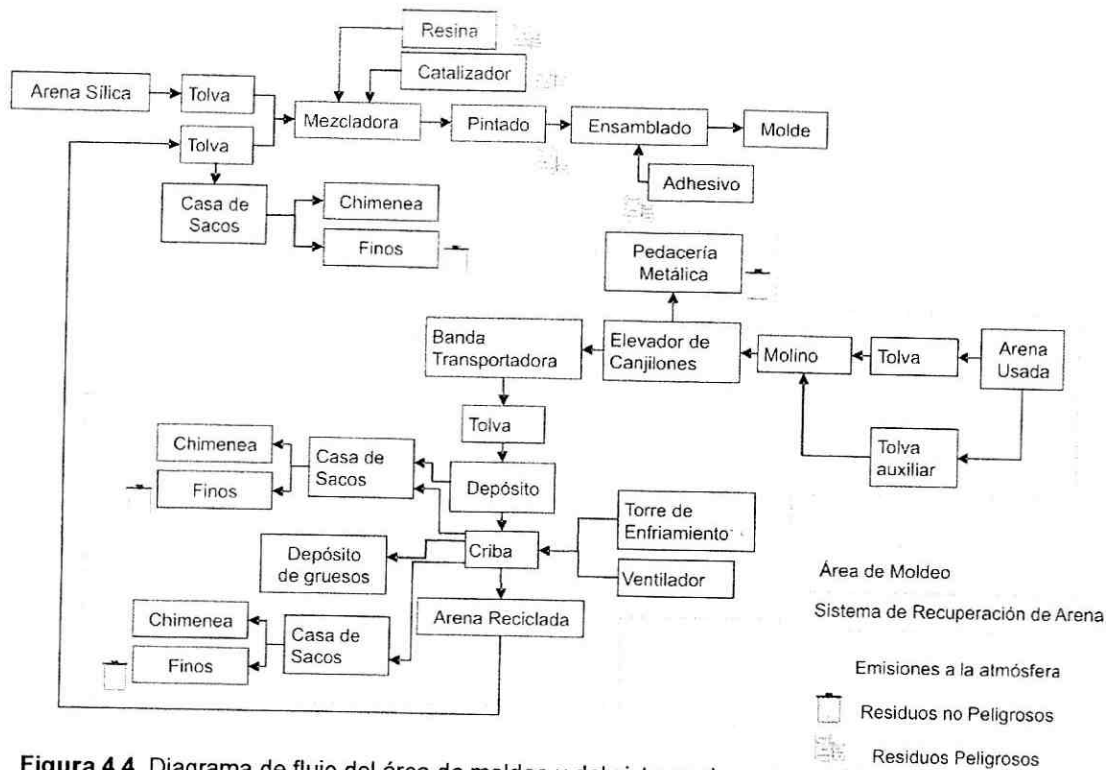


Figura 4.4. Diagrama de flujo del área de moldeo y del sistema de recuperación de arena

Proyecto Propuesto. El proyecto propuesto consiste en habilitar un área específica para la cama de quemado que se utiliza actualmente, para realizar el tratamiento térmico de manera constante, aumentando el porcentaje de la arena tratada. De esta forma se disminuirá el uso de resina al mezclar la arena reciclada con los aglutinantes (EPA, 1992; Freeman, 1998).

Capacidad para Prevenir la Contaminación. El tratamiento térmico dado a la arena de desmoldeo, disminuye la generación de gruesos en el sistema de recuperación de arena; la reducción en el consumo de resina fenólica aplicada a la arena para moldeo, disminuye la generación de residuos peligrosos (tanques vacíos de 200 L).

Instalación y arranque. La instalación del presente proyecto dependerá del supervisor del área de moldeo y del personal de laboratorio quien determina la relación adecuada

de resina y catalizador. Por lo tanto, el proyecto propuesto se puede implementar de inmediato, con un aumento paulatino en la arena usada que se somete al tratamiento térmico.

Evaluación costo-beneficio. La evaluación del costo-beneficio del Proyecto Disminución del uso de resina en el área de moldeo, se resume en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Evaluación costo-beneficio del Proyecto de disminución del uso de resina en el área de moldeo

Costo Actual	Costo de Implementación	Beneficio por implementación
El tratamiento térmico tiene un costo indeterminado ya que se desconoce el gasto de gas de la cama de quemado.	Indeterminado	Reducción del consumo de resina, reducción de la generación de residuos peligrosos, reducción de los gruesos generados en el sistema de recuperación de arena.

Medidas del desempeño del Proyecto. Debido a que este proyecto se relaciona directamente con el consumo de materiales, se puede evaluar con el índice de masa, modificándolo para limitarlo al área de moldeo. Considerando como la masa del producto la masa del total de las materias primas arena sílica nueva, resina y catalizador; y como la masa de las materias primas únicamente la masa de la resina.

$$S = \frac{\text{masa del producto}}{\text{masa de las materias primas}} = \frac{32.1 \text{ toneladas}}{8.6 \text{ toneladas}} = 3.7$$

No se considera como la masa del producto a la masa total de los moldes elaborados, por la variedad de moldes que se producen y no se tiene registro de la masa de cada uno, además de ser poco práctico pesarlos al producirlos.

El índice de masa actual calculado es de 3.7, un aumento en su valor significa un menor uso de resina, el índice máximo esperado es de 10, ya que la proporción más adecuada de resina en el peso del molde es de 0.012, lo que significa que de un

molde de 100 kilogramos, 1.2 kilogramos son de resina. Para conocer el índice máximo se cuantificó el peso de los moldes utilizados en 1 mes.

Inversión requerida y fuente de financiamiento. En el cuadro 4.5 se presenta la inversión requerida para implementar los Proyectos de Prevención de la Contaminación para el Manejo Integral de Residuos y el Control de Emisiones a la Atmósfera, el proyecto para la Disminución del uso de resina en el área de moldeo no se incluye ya que el último no requiere inversión.

Cuadro 4.6. Inversión fija requerida para la instalación de los Proyectos de Manejo Integral de Residuos y Control de Emisiones a la atmósfera

Proyecto	Concepto	Inversión
Manejo Integral de Residuos	Habilitación del almacén temporal de residuos peligrosos	\$ 7,000
	Delimitación del área de residuos de manejo especial Supersacos	\$ 5,000
Control de Emisiones a la Atmósfera	Sistema de Control de Emisiones del Horno	\$150, 000
	Instalación de Chimeneas con plataformas (cuando sean necesarias) y puertos de muestreo	\$ 40,000
TOTAL		\$202,000

Aunque la empresa puede ser acreedora a un crédito por la instalación de equipo de control ambiental, se considera que la mejor opción es solicitar a la SHCP, entrar al sistema de depreciación acelerada, para deducir en el lapso de un año, el 100% de la inversión. Se propone considerar este incentivo fiscal debido a que la empresa se encuentra en el Programa de Auditorias Voluntarias, por lo que no se necesitará mayor justificación para ser beneficiario de dicho sistema.

La ventaja de la depreciación acelerada es que al depreciar este monto en un año, en lugar de 5 años (vida útil fiscal del equipo), disminuyen las utilidades antes de impuestos de la empresa y por consiguiente, disminuyen los gastos del pago de utilidades y del pago del impuesto sobre la renta.

5. CONCLUSIONES

Los Proyectos propuestos previenen la contaminación, y disminuyen el impacto al ambiente que produce el proceso de la fundición. El Manejo Integral de los Residuos y el Control de Emisiones a la Atmósfera se basan en la necesidad del cumplimiento de la legislación ambiental, si bien, estos proyectos controlan la contaminación, este es el primer paso para la implementación de un programa de Prevención de la Contaminación. En cambio, el proyecto de Reducción del consumo de resina, esta fundamentado en el primer criterio de la jerarquía propuesta por la EPA, el de reducción en la fuente. Esto demuestra que con un simple cambio en las prácticas de producción se puede Prevenir la Contaminación.

La ventaja del Manejo Integral de los Residuos, aunque no muy visible desde el punto de vista económico, es que esta es la principal área de oportunidad para desarrollar otros proyectos de Prevención de la Contaminación (como el uso de residuos como co-productos en otros procesos).

Otras de las ventajas es en términos de comercialización, considerando que el 80% de los clientes de la empresa analizada son extranjeros, principalmente de los Estados Unidos y próximamente de Europa, siendo estas economías las principales promotoras de filosofías como la Prevención de la Contaminación y la Eco-eficiencia. En estos países se incluyen en sus políticas dichas filosofías, por lo que las exigencias ambientales por este tipo de clientes son cada vez mayores; las empresas de estos países buscan proveedores que no generen impactos al ambiente. De esta manera, al implementar los proyectos propuesto como parte de un Sistema de Administración Ambiental o para obtener el Certificado de Industria Limpia otorgado por la PROFEPA,

la empresa puede participar de manera competitiva en mercados internacionales, afianzando y ampliando su cartera de clientes.

En general, en la empresa no se ha considerado la protección ambiental, incluyendo faltas en el cumplimiento de la legislación en materia ambiental existente. Con el ingreso al Programa de Auditorías Voluntarias de la PROFEPA, se tendrá que cumplir con dicha legislación. Si esto se considera como una obligación, en lugar de considerarlo un área de oportunidad, la empresa seguirá orientada al cumplimiento e impactando al ambiente. Esta orientación de la empresa, hacia el cumplimiento o hacia la optimización de los procesos, dependerá únicamente de los directivos de la empresa.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar los proyectos propuestos. Posteriormente se recomienda buscar una alternativa de reuso o reciclaje de los residuos generados, para esto se deberá buscar alianzas con otras empresas para que utilicen los residuos como co-productos. En cuanto al Control de las Emisiones a la Atmósfera, habrá que considerar los resultados de los monitoreos para la evaluación e implementación de nuevos proyectos.

Los Proyectos, como su definición lo especifica, son actividades aisladas, se recomienda relacionar estas actividades dentro de un Programa de Prevención de la Contaminación, el cual funciona como cualquier programa de mejora continua, para esto se necesita el compromiso de la dirección de la empresa y la definición clara de los objetivos de dicho programa.

7. RESUMEN

Los procesos industriales involucrados en la fabricación y apoyo de la mayoría de los productos pueden tener impactos negativos sobre el ambiente, entre los que se incluyen la generación de residuos, el deterioro de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos naturales. La contaminación producida por estos procesos se debe al grado de ineficiencia de los mismos. Al optimizarlos se reduce el impacto ambiental que provocan, y al mismo tiempo se obtiene un beneficio económico. Actualmente, han surgido varias filosofías destinadas a la optimización de los procesos industriales con el fin de disminuir la contaminación generada por estos procesos. El principio fundamental de filosofías como la Eco-eficiencia, Producción más Limpia y la Prevención de la Contaminación, es producir los bienes y servicios necesarios con menos impacto. En esta investigación se elaboraron proyectos para la prevención de la contaminación producida por las emisiones a la atmósfera y la generación de residuos, de una industria dedicada a la fundición de hierro y acero. Los proyectos desarrollados fueron el Manejo Integral de Residuos, el Control de las Emisiones a la Atmósfera y la Reducción del Consumo de Resina, los primeros dos proyectos se basan en el control de la contaminación, fundamentados en la legislación aplicable, mientras que el tercero se basa en el primer criterio para la prevención de la contaminación, la reducción en la fuente. La evaluación costo-beneficio de los proyectos, no fue analizada en términos financieros como período de retorno o rentabilidad de la inversión, debido a que es obligación de la empresa implementar los dos primeros proyectos. Las ventajas para la protección al ambiente son considerables, por lo que se recomienda la implementación de dichos proyectos de manera inmediata.

8. LITERATURA CITADA

- Allen, D. T. y K. S. Rosselot 1997. "Pollution Prevention for Chemical Processes." New York, Wiley: 453 pp.
- Alley, R. E. 2001. "Manual de Control de la Calidad del Aire." Mc-Graw Hill Interamericana Editores, México: 7.1-7.15, 18.1-18.28 pp.
- Anastas, P. T. y J. C. Warner 1998. "Green Chemistry Theory and Practice." New York: Oxford Univ. Press: 152 p.
- Barrera-Roldan, A. y A. Saldivar-Valdes 2002. "Proposal and application of a Sustainable Development Index." Ecol. Indic. 2: 251-56.
- Bishop, P. L. 2000. "Pollution Prevention. Fundamentals and Practice." Mc-Graw Hill Higher Education, 1a. Edition, Washington, DC.: 251-295.
- Cagno, E., P. Trucco y L. Tardini 2005. "Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports." J Clean Prod 13: 593-605.
- CAM-SACT 1996. "Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Fundación." Comisión Ambiental Metropolitana, Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, México: 58 p.
- CCAAN 2002. "Financiamiento para apoyar la protección y conservación del medio ambiente." Comisión de Cooperación Ambiental de America del Norte, Agenda de América del Norte para la Acción: 2003-2005, Medio Ambiente, Economía y Comercio: 5 p.
- CMPL 2005. "(en línea) Metodología para la Producción más Limpia." Centro Mexicano para la Producción más Limpia IPN, Canacindra, ITESM: 25 p <http://www.cmpl.com.mx/Portal/PL/Metodologia.asp> (Recuperado 30 junio 2005).
- COECYT 2003. "(en línea) Programa Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Jalisco. Capítulo II Demanda de Ciencia y Tecnología." <http://coecyt.jalisco.gob.mx/pecytjal/cap2.htm> (Recuperado 2 Noviembre 2005).
- Coronado-Maldonado, M. y R. Oropeza-Monterrubio 1998. "Manual de Prevención y Minimización de la Contaminación Industrial." 1a. Edición. Panorama Editorial. México: 183 p.
- DEC-MITPTBE 1997. "Implementing Design for Environment." Digital Equipment Corporation, Massachusetts Institute of Technology Program on Technology Business and Environment, United States of America: 51 p.

- DOF 2002. "Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2001, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y el listado de los residuos peligrosos." Publicada 26 de Julio 2002 en el Diario Oficial de la Federación.
- Eissen, M. y J. O. Metzger 2001. "Environmental Performance metrics for daily use in synthetic chemistry." *Chem. Eur. J.* 8: 3580-3585.
- Enkerlin-Hoeflich, E. C., G. Cano-Cano, R. A. Garza-Cuevas y E. Vogel-Martínez 1997. "Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible." 1a. Edición International Thomson Editors, México: 307-311,530-536 pp.
- EPA 1992. "Guides to Pollution Prevention: Metal Casting and Heat Treating Industry." United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. USA EPA/6251R-92/009: 78 p.
- Fiksel, J. 1997. "Ingeniería de Diseño Medioambiental, DFE; Desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes." McGraw-Hill, México, 1a. Edición: 256 p.
- Freeman, H. M. 1998. "Manual de la Prevención de la Contaminación Industrial." McGraw Hill, 1a. Edición, México: 1046 p.
- FUNTEC 2005. "(en línea) Fondo para Proyectos de Prevención de la contaminación." Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de tecnología en la pequeña y mediana empresa, Asociación Civil <http://www.funtec.org/> (Recuperado 28 Octubre 2005).
- INE 1999. "Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos." Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Gestión e Información Ambiental, 1a. Edición. México.: 17-19 pp.
- INE 2000. "Elementos para un proceso inductivo de gestión ambiental en la Industria." Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Gestión e Información Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, México: 139 p.
- INEGI 2004a. "Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1998-2003." Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México: 166 p.
- INEGI 2004b. "La industria siderúrgica en México." Serie de Estadísticas Sectoriales. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México: 149 p.
- Johnstone, N., S. Pascale, B. Ytterhus y R. Wolff 2004. "The Firm, Environmental Management and Environmental Measures: Lessons from a Survey of European Manufacturing Firms." *J Environ Plan Manag* 47: 685-707.
- LAN 2004. "Ley de Aguas Nacionales." Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 Diciembre 1992, Última reforma 29 Abril 2004 México.
- LGEEPA 2004. "Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente." Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 Enero 1988, Última reforma 3 Junio 2004 México.

- LGPGIR 2003. "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos." Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 Octubre 2003 México.
- LISR 2004. "Ley del Impuesto Sobre la Renta." Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 Enero 2002, Última reforma 1 Diciembre 2004 México.
- Marteel, A. E., J. A. Davies, W. W. Olson y M. A. Abraham 2003. "Green Chemistry and Engineering: Drivers, Metrics, and Reduction to Practice." *Annu Rev Environ Resour* 28: 401-428.
- Montgomery, R. 2002. "Efficiency: The sustainability criterion that provides useful guidance for statistical research." *Statistical Journal of the UN Economic Commission for Europe* 19: 29-41.
- Narodoslawki, N. y C. Krotscheck 2000. "Integrate ecological optimization of processes with the sustainable process index." *Waste Manag.* 20: 599-603.
- Nevers, N. 2000. "Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire." 1a. Edición, McGraw Hill, México: 505-509 pp.
- OECD 2002. "Workshop On Waste Prevention: Toward Performance Indicators." Organisation for Economic Co-operation and Development, Working Group on Waste Prevention and Recycling: 237 pp.
- Oldenburg, K. y K. Geiser 1997. "Pollution Prevention and...or Industrial Ecology?" *J Clean Prod* 5: 103-108.
- Palmer, A. R. 1999. "Ecological footprints: evaluating sustainability." *Environ Geosci* 6: 200-204.
- Pratt, L., J. P. Büchert y L. Rivera 2003. "Análisis de Mecanismos para el Financiamiento de la Producción más Limpia en la Pequeña y Mediana Empresa Latinoamericana." Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) del Banco Internacional de Desarrollo: 65 p.
- R_LGEEPA_MPCCA 2004. "Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera." Publicado en el Diario Oficial de la Federación 25 de noviembre de 1988, Última reforma 3 Junio 2004 México.
- R_LGEEPA_MRP 1988. "Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos." Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 Noviembre 1988 México.
- Scherpereel, C., C. S. A. Van Koppen y G. B. F. Heering 2001. "Selecting Environmental Performance Indicators." *Greener Management International*: 97-114.
- Schwarz, J., B. Beloff y E. Beaver 2002. "Use sustainability metrics to guide decision-making." *Chem. Eng. Prog.* 98: 58-63.

- Seoanez-Calvo, M. 1996. "Ecología Industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa." Ediciones Mundi-Prensa 1a. Edición. España: 23-39, 226 pp.
- Sheldon, R. A. 1997. "Catalysis: the key to waste minimization." J. Chem. Technol. Biotechnol. 68: 381-388.
- Spangenberg, J. J. 2002. "Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development." Ecol. Indic. 2: 295-309.
- UNEP 2002. "Cleaner Production in Latin America and the Caribbean." United Nations Environmental Programme: 76 p.
- Van Koppen, C. S. A. y J. L. F. Hagelaar 1998. "Environmental Management as a Strategic Choice." Bedrijfskunde 70: 45-51.
- Verfaillie, H. A. y R. Bidwell 2000. "Measuring eco-efficiency, a guide to reporting company performance." World Business Council for Sustainable Development: 38 p.
- Walls-Aurioles, R. 2000. "Gestión Ambiental." 1a. Edición, Mc-Graw Hill, México: 25-97 pp.
- Wark, K. y F. Warner 1998. "Contaminación del Aire, Origen y Control." Editorial Limusa S.A. de C.V. 1a. Edición, México: 193-323.
- WBCSD 2000a. "Ecoeficiencia, creando mas valor con menos impacto." World Business Council for Sustainable Development, United States of America: 12-29 pp.
- WBCSD 2000b. "Building a better future; innovation, technology & sustainable development." World Business Council for Sustainable Development, United States of America: 4-25 pp.
- WBCSD-UNEP 1996. "Eco-Efficiency and Cleaner Production, Charting the Course to Sustainability." World Business Council for Sustainable Development, United Nations Environmental Programme: 5-17 pp.
- WBG-UNEP 1999. "Pollution Prevention and Abatement Handbook: Toward Cleaner Production." The World Bank Group, United Nations Environment Programme Washington, D.C., USA: 11-144, 312-316 pp.

APÉNDICE A
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo de la empresa evaluada se realiza en cuatro áreas principales: el área para la preparación de corazones, el área de moldeo, el área de fusión y el área de acabado e inspección final, a continuación se describen las actividades realizadas en cada área, incluyendo un diagrama de bloques de dichas actividades.

Preparación de Corazones

Materia prima. Arena shell.

Fabricación y elaboración del corazón. La fabricación y elaboración del corazón, se lleva a cabo en la maquina corazonadora, esta maquina consta de unos moldes metálicos, intercambiables, dependiendo del tipo de corazón a elaborar. Para la elaboración del corazón a base de arena shell, se coloca ésta en el molde metálico para posteriormente someter el molde a calentamiento directo, o cocción de la arena, hasta que esta se endurece, de manera que toma la forma del molde metálico, para obtener el corazón en arena shell.

Almacenamiento de corazón. Una vez que el corazón ha sido elaborado en la maquina corazonera, se resana, con la finalidad de quitarle toda la arena sobrante en los bordes, posteriormente se almacena.

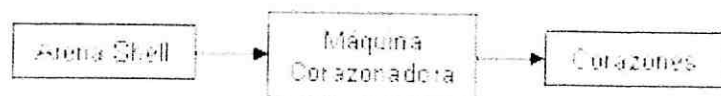


Figura A.1. Diagrama de bloques del área de preparación de corazones

Moldeo

Materia Prima. Arena sílica, resina y catalizador.

Maquina moldeadora. Para la elaboración de los moldes se emplea la arena sílica, la empresa cuenta con dos tipos de arena, la nueva y la reciclada, éstas arenas se almacenan en dos tolvas con capacidad cada una de 60,000 toneladas, de las tolvas de almacenamiento se toma la arena en proporciones iguales y se hace pasar ésta por un equipo denominado maquina mezcladora, en esta maquina se agrega a la arena, la resina y el catalizador. La adición de estas sustancias en la arena es con la finalidad de que ésta adquiera cierta dureza de manera que soporte la temperatura del metal líquido así como la presión que genera éste cuando es vaciado en los moldes.

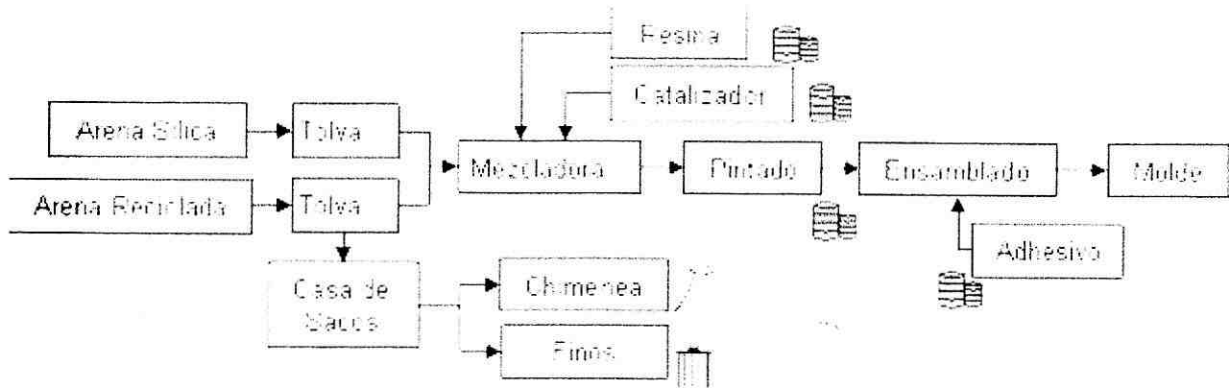
Llenado de moldes. Para la fabricación de las piezas metálicas que se elaboran en la empresa, se emplean cajas de madera que en su interior tiene la forma de la pieza a fabricar, estas cajas o cajones se conocen como moldes. Los moldes se colocan bajo la maquina mezcladora con la finalidad de llenar el molde con la arena sílica mezclada con la resina y el catalizador. Los moldes normalmente están compuestos por dos partes, y cada cajón es la mitad del molde. Una vez lleno el molde con la arena, se hace vibrar y se raza el molde a fin de quitarle la arena sobrante.

Resanado del molde. Una vez que el molde toma forma, se quita el cajón y el molde pasa al área de pintado. Se pinta el molde con pintura elaborada a base de zirconio con la finalidad de que el metal caliente una vez vaciado al molde no se adhiera a las paredes de la pieza y se facilite el desmoldeo de las piezas. Para el secado rápido de la pintura, se aplica calor directamente por medio de sopletes.

Tapado de moldes y colocación de Corazón.- Una vez que las dos mitades que conforman la pieza, se encuentran en el área de vaciado, se ensamblas las dos mitades, a fin de darle la forma a la pieza a producir, actividad que se denomina tapado

de moldes, una vez realizada esta actividad, el molde esta listo para recibir el metal líquido.

Figura A.2. Diagrama de bloques del área de moldeo



Fusión

Materia prima. Chatarra de hierro dulce, aluminio, aleaciones como el ferrosilicio y ferroligas.

Cargado del horno. Para la elaboración de las piezas metálicas en hierro dulce la empresa cuenta con un horno de fundición de inducción eléctrica, en este equipo se coloca la chatarra de hierro dulce y se agregan las aleaciones de ferroligas, todo se realiza manualmente. Una vez colocada la chatarra en el equipo, se eleva la temperatura de éste hasta alcanzar el punto de fusión del material. Cuando la material esta totalmente fundido, se ajusta la temperatura del horno y se le agregan las ferroligas. Una vez alcanzada la temperatura requerida, se vacía el metal fundido en la olla o crisol para posteriormente vaciarlo a los moldes.

Calentamiento del crisol. El crisol u olla es un equipo móvil empleado para el traslado del metal fundido, desde el horno de fusión hasta los moldes, este se calienta por medio de un mechero de alta presión, para evitar un choque térmico al vaciar el metal fundido.

Vaciado. El metal líquido primero se vacía del horno de fusión en el crisol u olla, a fin de vaciar el metal fundido en los moldes.

Desmoldeo. Una vez enfriadas las piezas se procede al desmoldeo. Esta actividad consiste básicamente en desbaratar o deshacer el molde, con la finalidad de obtener la pieza, esta operación se lleva manualmente. En esta parte del proceso se lleva también a cabo la recuperación de gran parte de la arena. La arena recuperada se envía hacia las tolvas de almacenamiento, para posteriormente ser reutilizada, en la elaboración de los moldes, mezclándose con arena nueva.

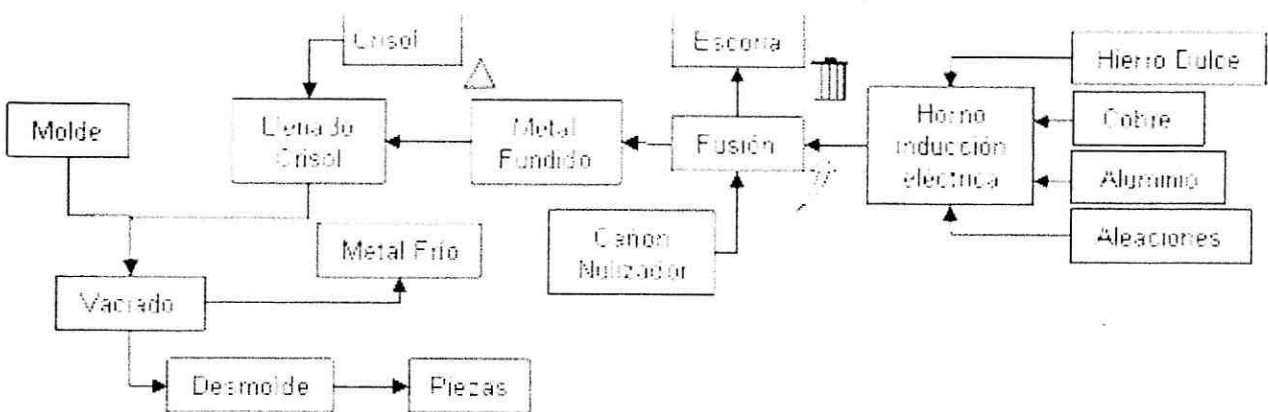


Figura A.3. Diagrama de bloques del área de fusión

Acabado e Inspección Final

Corte de colada. Es la operación mediante la cual se lleva a cabo el corte del metal sobrante de la pieza, la operación se realiza una vez que la pieza se ha obtenido del desmoldeo y antes de continuar con el proceso final.

Esmerilado de la pieza.- Con el objeto de darle a la superficie de la pieza un mejor acabado y terminar de quitar todo el material sobrante, se realiza sobre la pieza un esmerilado, para lo cual se emplean equipos manuales con discos de desbaste o equipos esmeriladores.

Soldadura de piezas. En algunas piezas cuando se han detectado defectos producto de la fundición, se pueden realizar reparaciones en el cuerpo de la pieza, por medio de la aplicación de soldadura, esto es cuando el defecto puede ser imperceptible.

Granallado de piezas. Una vez que se le a quitado a la pieza todo el material sobrante producto del vaciado del hierro líquido, se lleva a cabo la limpieza de la pieza, en la maquina granalladora, se llama así debido a que dicha limpieza se realiza con granalla, la cual esta formada por bolitas muy pequeñas de metal, las cuales golpean la pieza, quitando todo los residuos de arena y metal.

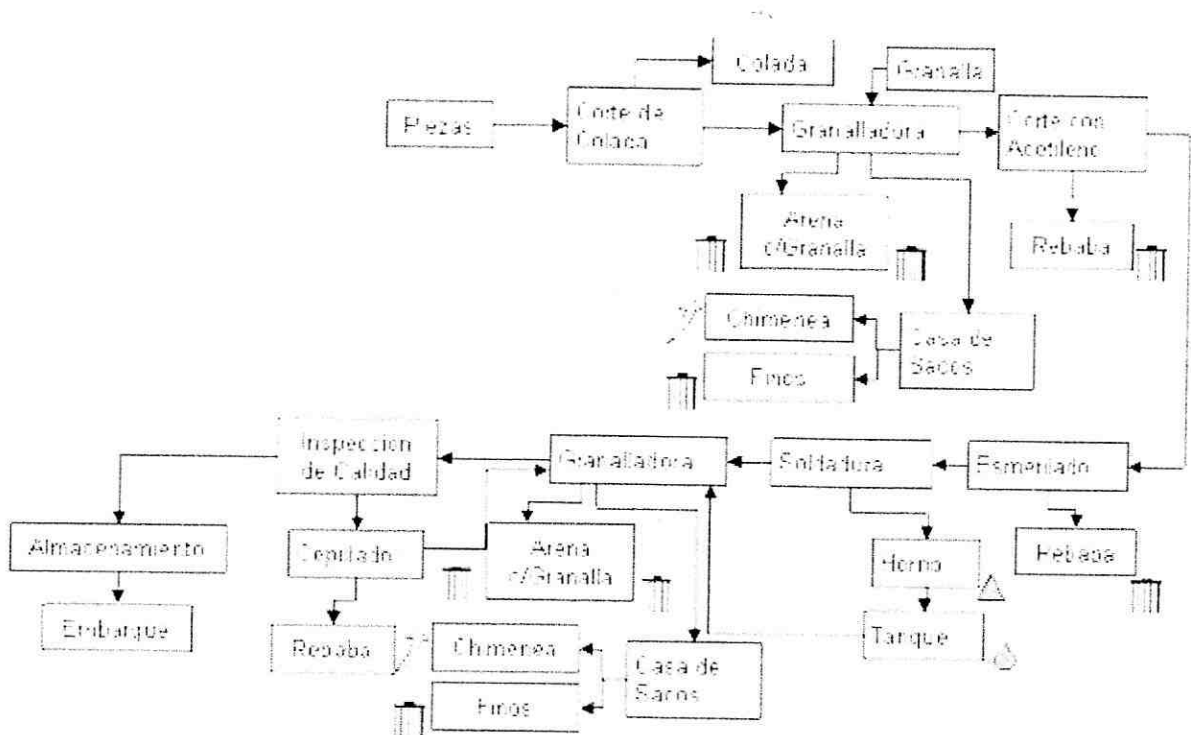


Figura A.4. Diagrama de bloques del área de acabado e inspección final

Tratamiento térmico. Una vez que la pieza se encuentra totalmente limpia, se pasa al horno de tratamiento térmico. En este equipo la pieza se coloca en el interior de este, para someterla a una temperatura elevada, en donde se deja por espacio de 24 horas, una vez que la pieza ha pasado el tiempo suficiente en el equipo, se retira de este y se

sumerge inmediatamente en agua, esta operación se lleva a cabo con la finalidad de que la pieza adquiera cierta dureza.

Inspección final. Una vez que la pieza ha pasado por todos estos pasos, se coloca en el área correspondiente al embarque, no sin antes pasar por una inspección final y de control de calidad. Si la pieza ha pasado el control de calidad se encuentra lista para su embarque.