



SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA CÉDULA DE OPERACIÓN ANUAL

Industria Metalúrgica

Subsectores

CA-11	CA-7F	CA-7Q	CA-LJ
CA-12	CA-7I	CA-7S	CA-LK
CA-13	CA-7J	CA-7T	CA-M8
CA-14	CA-7L	CA-7Z	CA-MD
CA-15	CA-7M	CA-8C	CA-MJ
CA-17	CA-7N	CA-8Z	CA-MK
CA-68	CA-7P	CA-A2	CA-ND

CONTENIDO

Introducción	3
Identificación de los Sujetos Obligados a Presentar la COA y partes de ésta a capturar	6
Datos de Registro	11
Industria Metalúrgica	16
Información Técnica General	183
Registro de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera	197
Registro de Descargas (emisiones) a Cuerpos de Agua y Transferencias de Contaminantes en el Agua	248
Registro de la Generación, Manejo y Transferencia de Residuos Peligrosos	258
Emisión y Transferencia de Contaminantes	270
Anexo I. Factores de Emisión del Sector	295
Anexo II. Factores de Emisión de Combustión	324
Anexo III. Resumen de la Generación de Contaminantes en el Sector de Metalurgia	358
Anexo IV. Regulación y Normas Aplicables	397
Anexo V. Conversión de Unidades	399
Anexo VI. Modelo Sugerido de Bitácora de Residuos Peligrosos	401
Anexo VII. Listado de Sustancias Sujetas a Reporte de Competencia Federal para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes según la NOM-165 SEMARNAT 2013	402
Bibliografía	404

INTRODUCCIÓN

Para que un estado tome decisiones adecuadamente, se necesita contar con información suficiente y confiable, por tal motivo, es de suma importancia para nuestro país, contar con ésta en materia ambiental, la cual, permita el diseño de políticas de protección al medio ambiente. A través de la Cédula de Operación Anual (COA), la SEMARNAT recopila información sobre las emisiones y transferencias de contaminantes al aire, agua, suelo y de residuos peligrosos, que los establecimientos reportan anualmente.

Con la información provista en la COA se integran una cantidad cada vez mayor de productos útiles como: los inventarios de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos, Gases de Efecto Invernadero (GEI), Contaminantes Criterio y el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) a través del cual se conoce la identidad y cantidad de las sustancias que contaminan el aire, el agua y el suelo, así como la localización exacta de las fuentes que las generan.

La calidad de la información de la COA y el RETC, son por tanto indispensables, no sólo para que las autoridades diseñen y establezcan políticas ambientales eficaces, sino para que la propia industria evalúe sus procesos productivos y sistemas de administración ambiental.

A inicios del 2016, la COA sigue en mejora continua, como lo ha estado desde su creación, para quedar a la altura de los cambios y necesidades de México. Recientemente, han ocurrido tres cambios sumamente importantes que han sido motivo de una actualización general de esta guía: el primero es la publicación de la NOM-165 SEMARNAT 2013, que establece la (nueva) lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF); el segundo es la actualización del formato de la COA, mismo que se detalla en el documento "Formato e instructivo de la COA", publicado en el DOF el 14 de Agosto del 2015 y el tercero es el cambio de plataforma (digital), pasando de la conocida "aplicación local" que se descargaba a la aplicación "Web" en línea.

La NOM-165 SEMARNAT 2013 contiene una lista de 200 sustancias RETC, de las cuales 104 son nuevas respecto al "acuerdo secretarial" previo. Esta lista surgió después de un arduo trabajo entre diversas instituciones del Estado, representantes de la industria y especialistas en la materia para incluir aquellas a las que vale la pena dar seguimiento y regular según los intereses y metas del Estado Mexicano con la intención de promover e impulsar un desarrollo sustentable. Ahora la lista es mayor y por ende fue necesario incluir estos cambios en la presente guía.

La reestructuración y rediseño del Formato de la COA que la SEMARNAT hizo, fue para actualizarlo e integrar en él los campos de información y demás características necesarias para recopilar la información que el Estado Mexicano necesita hoy en día en sus diferentes instituciones como: la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión

Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), la Secretaría de Salud (SSA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para que cada una de ellas tenga la información que necesita para cumplir sus funciones y en conjunto impulsar el desarrollo sustentable de la Nación Mexicana.

El sustento Legal y Jurídico de este nuevo formato, es claro y robusto, basándose principalmente en: el Artículo 72 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPyGIR), en su más reciente actualización, publicada en el DOF el 31 de octubre del 2015, en vigor desde el 2 de marzo del 2015; el Artículo 17 y 21 del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEEGEPA) en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera (PyCCA), en su más reciente actualización, publicada en el DOF el 31 de octubre del 2014 y en vigor desde el 2 de marzo del 2015; el Artículo 9 y 10 del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEEGEPA) en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, en su más reciente actualización, publicada en el DOF el 31 de octubre del 2014 y en vigor desde el 2 de marzo del 2015; los Artículos 3, 4 y 12 del Reglamento de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en Materia de Registro Nacional de Emisiones, publicado en el DOF el 28 de octubre del 2014.

Por último, la decisión de pasar el Formato de la COA a un plataforma WEB fue tomada debido al aumento en la cantidad de información solicitada, la complejidad de la misma, al número de sujetos obligados a reportarla, de usuarios de la información, de la complejidad del procesado de la información y necesidad de un medio más seguro y confiable para el manejo de la información. Esta plataforma ofrece mejores condiciones para que la COA se maneje eficientemente, con seguridad y pueda alcanzar todo el potencial que ofrece a la sociedad, a los empresarios y a las autoridades. La creación de la COA “Web”, fue realizada por la SEMARNAT en conjunto con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y con asesores sobre el “nuevo” Formato de la COA antes mencionado y sobre el procesado de datos.

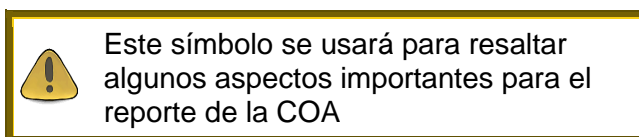
La plataforma Web de la COA, entre otros detalles, es ahora solo vía Web, siendo un trámite 100% digital y a través de internet (registro, captura y presentación), la aplicación, identifica y notifica al usuario las obligaciones y tablas a reportar; utiliza la firma electrónica del SAT para validar el reporte; permite importar datos desde archivos CVS de Excel, cuenta con ayuda en línea y centraliza la información en una y mejor base de datos para la recepción, manejo y proceso de la información.

En esta nueva y mejorada versión de la COA, también se ha buscado minimizar los errores que en los últimos 10 años se han encontrado identificado que para el sector químico corresponden a las siguientes causas: ausencia de información 39%, errores de cálculo o valores fuera de intervalo 23%, incongruencias entre los datos de reporte o la interpretación equivocada de la información solicitada 38% sobre el total de inconsistencias de la información reportada por empresas de este sector. No

obstante, sigue siendo imprescindible que las personas y empresas que cargan su información en ella, lo hagan con conocimiento de causa y de la manera apropiada, por lo que la SEMARNAT sigue capacitando a los establecimientos sujetos a reporte a través de cursos, talleres, videoconferencias, asesorías vía telefónica y por correo electrónico, además de desarrollar diversos instrumentos para apoyar al sector industrial en la correcta elaboración de la COA.

Con el fin de cubrir las necesidades de capacitación solicitadas a la SEMARNAT y apoyar a los establecimientos en el correcto reporte de la COA, se desarrollaron y recientemente se actualizaron estas “Guías para la Elaboración de la COA”, una para cada sector industrial de Jurisdicción Federal en Materia de Atmósfera.

La presente guía, es una actualización de la anterior contemplando los nuevos elementos y cambios descritos anteriormente, contiene una descripción de la información necesaria para elaborar la COA y las fuentes para obtenerla, el análisis de los errores detectados en el sector industrial y los ejemplos para solventarlos, las metodologías de estimación para determinar los valores que se capturarán, así como las aclaraciones pertinentes para evitar los errores comunes detectados en los reportes existentes. Finalmente el siguiente símbolo (con o sin recuadro amarillo) de alerta se usa para resaltar ciertos aspectos importantes en el texto:



IDENTIFICACIÓN DE LOS SUJETOS OBLIGADOS A PRESENTAR LA COA Y PARTES DE ÉSTA A CAPTURAR


El nuevo formato de la COA goza de más “tipos” de sujetos obligados a presentarla, por lo que es necesario aclarar quienes son los establecimientos que ahora tienen esta obligación, básicamente son los siguientes:

1. Fuentes Fijas de Jurisdicción Federal, que incluyen los 11 sectores Federales en materia de Atmósfera, a los que pertenece la **Industria Metalúrgica**.
2. Grandes generadores de residuos peligrosos (GGRP), que son aquellos que producen más de 10 toneladas por año. Algunas empresas de este sector también pueden ser GGRPs.
3. Manejadores de residuos peligrosos, que son las empresas que prestan el servicio de transporte, acopio, tratamiento y/o disposición final de residuos peligrosos y de remediación de suelos contaminados
4. Empresas que generan descargas de aguas residuales en cuerpos de agua considerados como “nacionales”.
5. Empresas o consolidados, sitios de trabajo y sustancias descritas en el Reglamento de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en Materia de RENE que emitan más de 25,000 toneladas de CO₂ equivalente, considerando fuentes fijas y móviles.

Una vez que el usuario se ha identificado apropiadamente y ha logrado ingresar a la aplicación en línea, se ejecuta un algoritmo que ayuda a identificar qué secciones y tablas de la COA se deben presentar.

La clasificación del establecimiento requiere que el capturista conozca con detalle que es lo que se hace en su empresa o sitio de trabajo para poder seleccionar la actividad en las listas que se despliegan y contestar las preguntas complementarias.

Los documentos que pueden ser útiles para esta parte son los mismos que se mencionan como apoyo para la sección de “Datos Generales”, misma que contiene campos para identificar ante la SEMARNAT a la empresa y/o sitio de trabajo que presenta la COA. Se recomienda que el capturista esté debidamente capacitado para hacer la captura de la información y que conozca bien lo que se hace en la empresa.

 Una vez se haya realizado la clasificación del establecimiento, no es posible volver atrás para editarla, por lo que es necesario hacerla apropiadamente en la primera vez

El la figura siguiente se muestra un esquema general del algoritmo que ejecuta la aplicación para clasificar el establecimiento.



Figura 1A. Estructura general del algoritmo de clasificación del establecimiento que reporta la COA que la aplicación ejecuta para habilitar las secciones y tablas que el establecimiento debe presentar.

Una vez que la clasificación del establecimiento esté hecha, la aplicación habilitará las secciones y tablas que son obligatorias y las que son opcionales de presentar.

En la siguiente serie de figuras, se muestra una relación entre los tipos de sujetos obligados a presentar la COA y las tablas de cada sección que la aplicación habilitará.

Los títulos en rojo son las nuevas tablas de cada sección, además, las tablas anteriores (en negro) han sido rediseñadas también, todas ellas se explicarán con detalle posteriormente.

Recuadro A1. Tablas de la **Sección I “Operación y Funcionamiento”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LPGGIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
1.1.1 Diagrama de funcionamiento						
1.1.2. Eventos programados y no programados						
1.2. Insumos						
1.2.1. Emisión de Clorofluorocarbonos, Hidroclorofluorocarbonos, Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos y Halocarbonos						
1.3. Productos, subproductos y productos intermedios						
1.3.1. Generación de energía eléctrica						
1.4 Consumo anual energético						
1.4.1. Consumo anual de energía eléctrica						
1.4.2. Descripción y actividad de la flota vehicular						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal

GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos

DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales

EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos

Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento

Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Recuadro A2. Tablas de la **sección II “Registro de emisiones de contaminantes a la atmosfera”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LPGGIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
2.1.1. Características de maquinaria, equipo o actividad que genera contaminantes						
2.1.2. Características de las chimeneas y ductos de descarga de las emisiones conducidas						
2.1.3. Descripción de la actividad ganadera del sector agropecuario						
2.1.4. Descripción de las actividades de la industria petrolera						
2.2. Monitoreos de parámetros normados y específicos establecidos en autorizaciones						
2.3. Registro de emisiones anuales a la atmósfera						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal

GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos

DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales

EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos

Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento

Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Recuadro A3. Tablas de la **sección III “Registro de descargas de contaminantes en el agua: a cuerpos de agua (emisiones) y transferencias (alcantarillado), tratamiento por terceros que tengan emisiones o transferencias”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LPGGIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
3.1. Fuentes de extracción y aprovechamiento de agua						
3.2. Descarga de aguas residuales						
3.3. Tratamiento y otras fuentes de abastecimiento						
3.4. Registro de parámetros, emisiones y transferencias en descargas de aguas residuales						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal
 GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos
 DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales
 EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos
 Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento
 Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Recuadro A4. Tablas de la **sección IV “Informe anual de generación, manejo de residuos peligrosos y suelos contaminados y reporte anual de transferencia de residuos peligrosos”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LPGGIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
4.1. Informe de generación, almacenamiento y manejo por el propio generador de residuos peligrosos						
4.2. Transferencia de residuos peligrosos						
4.3. Informe del manejo de residuos peligrosos de empresas prestadoras de servicios						
4.4. Seguimiento a las actividades de los Planes de Manejo de Residuos Peligrosos						
4.5. Tratamiento de suelos contaminados						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal
 GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos
 DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales
 EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos
 Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento
 Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Recuadro A5. Tablas de la **sección V “Registro de emisiones y transferencia de contaminantes (RETC) y prevención de la contaminación”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LGP GIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
5.1. Uso, producción y/o comercialización de sustancias RETC en el establecimiento						
5.2. Emisiones y Transferencias de Sustancias RETC por operación normal y eventos programados o no programados						
5.3. Información específica sobre manejo y/o disposición final de Residuos Peligrosos o de tratamiento de aguas residuales que contengan Sustancias RETC						
5.4. Acciones de prevención realizadas en la fuente						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal
 GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos
 DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales
 EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos
 Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento
 Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Recuadro A6. Tablas de la **sección VI “Registro de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero”** de la COA contra los tipos de sujetos obligados a reportar.

	RETC			LGP GIR	RENE	
	FFJF	GGRP	DACN	EMRP	Instalación	Consolidado
6.1 Registro de gases o compuestos con efecto invernadero						

FFJF: Fuente Fija de Jurisdicción Federal
 GGRP: Gran Generador de Residuos Peligrosos
 DACN: Descargas de agua en cuerpos receptores que sean aguas nacionales
 EMRP: empresa de manejo de residuos peligrosos
 Instalación: establecimiento que reporta al RENE por establecimiento
 Consolidado: corporativo que reporta el RENE información consolidada

Considerando solo el tipo de procesos que existen en los 28 subsectores correspondientes al sector de Industria Metalúrgica, la aplicación habilitará las siguientes tablas:

- 1.- Obligatorias:** 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.1, 1.4.2, 2.1.1, 2.1.2, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.4, 4.1, 4.2
- 2.- Opcionales:** 1.1.2, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.3, 3.3, 4.3, 4.4, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6

En algunos subsectores, varias tablas que son obligatorias pudieran aparecer como opcionales y viceversa, además pudiera habilitarse un juego diferente de tablas si el establecimiento cae dentro de más de una clasificación como sujeto obligado y/o está en una situación particular

DATOS DE REGISTRO

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

En esta sección, se reportan los datos generales del establecimiento, así como las autorizaciones otorgadas por la SEMARNAT, para ello es necesario contar con una copia simple de los documentos oficiales de la empresa y del representante legal, que se detallan como documentos de soporte y de referencia en el siguiente recuadro, con la finalidad de que la información que se capture en la COA, sea verídica, confiable y actualizada.

Recuadro B. Información requerida para reportar el apartado de Datos de Registro

Parte del apartado	Información que se reporta	Documentos de soporte y referencias	Errores comunes y aclaraciones importantes
Identificación del establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Año que se reporta • Nombre o razón social vigente • RFC • Nombre comercial • Número de Registro ambiental (NRA) • Datos del último cambio de razón social (fecha, NRA y/o nombre anterior) • Registro único de personas acreditadas (RUPA) • Principal actividad económica del establecimiento • Clave del sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 	<ul style="list-style-type: none"> • Registro Federal de Contribuyentes, RFC de la empresa • CURP del representante legal • Escritura pública • Número de Registro Ambiental, NRA otorgado por la SEMARNAT • RUPA otorgado por la Secretaría de la Función Pública si es que se tiene 	<ul style="list-style-type: none"> • Año de actividades incorrecto, ⚠ Este corresponde a las operaciones realizadas el año inmediato anterior, es muy importante actualizarlo • Nombre erróneo • Cambio de razón social, sin informar a la SEMARNAT. ⚠ En este caso, acudir a la SEMARNAT para solicitar la actualización de la LAU o la LF y el NRA, este último solo si el RFC cambió.
Autorizaciones del establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • En materia de atmósfera. # de Licencia ambiental Única (LAU) o # de licencia de funcionamiento (LF) • Aprovechamiento de aguas 	<ul style="list-style-type: none"> • Licencia ambiental única (LAU), otorgada por la SEMARNAT otorgada a fuentes fijas de jurisdicción Federal • Licencia de funcionamiento otorgada por la SEMARNAT otorgada 	<ul style="list-style-type: none"> • No. de LAU o LF otorgada por otra autoridad, ⚠ se deberá de registrar sólo si fue otorgada por la SEMARNAT. Éstas solo se entregan a establecimientos de competencia federal en materia de atmósfera • Las empresas transportistas o de destino final de residuos no cuentan con autorización de la

Parte del apartado	Información que se reporta	Documentos de soporte y referencias	Errores comunes y aclaraciones importantes
	nacionales. (# de autorización en concesión o asignación, dependencia emisora, volumen autorizado (m ³) <ul style="list-style-type: none"> • Descarga de aguas residuales (# de permiso, dependencia emisora, permiso de volumen de descarga (m³)) • Generación de Residuos Peligrosos (# de registro de generador) • Manejo de Residuos Peligrosos (# de autorización para la prestación del servicio, tipo de servicio autorizado) 	a fuentes fijas de jurisdicción Federal <ul style="list-style-type: none"> • Título de concesión o asignación otorgado por la Comisión Nacional del Agua • Permiso de descarga de aguas residuales otorgado por la CONAGUA Comisión Nacional del Agua • Registro de Generador de Residuos Peligrosos (clave SEMARNAT-07-017) • Autorización como prestador de servicio de manejo de residuos peligrosos otorgada por la SEMARNAT 	SEMARNAT o las autorizaciones no están vigentes <ul style="list-style-type: none"> • Los números de autorización especificados por el prestador del servicio de manejo de residuos no existen o no están vigentes. • El servicio que presta la empresa de manejo de residuos, no corresponde con el especificado en la autorización de la SEMARNAT • Los números de autorización especificados por el establecimiento para el tratamiento de suelos no existen o no están vigentes • El # de Registro de Generador (de residuos) corresponde al # de bitácora con que fue ingresado el trámite de Registro de Generador de Residuos Peligrosos (clave SEMARNAT-07-017)
Representantes legales o persona física obligada del establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre y firma • CURP • Teléfonos • Correos electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Firma electrónica que otorga el Sistema de Administración Tributaria (SAT) • Datos personales de el o los representantes legales 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo debe proporcionarse más de un representante legal en los casos en los que el poder notarial otorgado por la empresa requiera que la firma en la presentación de trámites sea de forma mancomunada
Domicilio del establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección (calle, # exterior, interior, colonia, CP, localidad, municipio, delegación, entidad federativa, teléfonos, correos electrónicos) • Domicilio y otros medios para oír y recibir notificaciones (mismos campos que para el domicilio) • Uso exclusivo de 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta ante la secretaría de Hacienda y Crédito Público • Correo electrónico, de preferencia el institucional u oficial 	<ul style="list-style-type: none"> • Error en la dirección • Teléfonos y correos electrónicos incorrectos ⚠ La SEMARNAT informa a los establecimientos de asuntos relacionados con el reporte de la COA a través de estos medios, por eso es muy importante poner los correctos

Parte del apartado	Información que se reporta	Documentos de soporte y referencias	Errores comunes y aclaraciones importantes
	la SEMARNAT para dirección y domicilio (tipo de vialidad, tipo de asentamiento humano, nombre del asentamiento humano)		
Ubicación geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenadas geográficas del domicilio (latitud norte y latitud oeste en grados, minutos y segundos, altura respecto al nivel del mar en metros) • Universal Transversal de Mercator (UTM) (X, Y, Zona UTM, DATUM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartas topográficas de INEGI escala 1:50 000 • Clave de catastro o cualquier otra autorización que la autoridad competente haya otorgado y que contenga las coordenadas geográficas o UTM • Espacio digital geográfico de la SEMARNAT http://infoteca.la.SEMARNAT.gob.mx/website/Retc/retc/viewer.htm 	<ul style="list-style-type: none"> • Error u omisión del registro de coordenadas geográficas
Datos del personal del establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • # total de empleados administrativos • # total de obreros en planta • # de empleados para el cuidado del ambiente (empleados verdes¹), actividad realizada por el empleado verde 	<ul style="list-style-type: none"> • Nómina de la empresa • Alta ante la secretaría de Hacienda y Crédito Público 	<ul style="list-style-type: none"> • Omisión de datos de número de empleados • Omisión del dato de semana de trabajo en planta
Tipo de operación que tuvo el establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de operación (marcar opción: año completo, operó parcialmente, solo actividades de mantenimiento, operó de forma intermitente, No operó) • Si no se operó el año completo, indicar el período 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitácora de operación • Programas de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Omisión del dato de horas y/o semanas trabajadas

Parte del apartado	Información que se reporta	Documentos de soporte y referencias	Errores comunes y aclaraciones importantes
	<p>de actividades (fecha inicial, fecha final)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horas y semanas de trabajo (actividad principal) en planta (# de horas y semanas) • Fecha de inicio de operación de la planta (día, mes, año) 		
Capital, matriz y/o corporativo asociado al establecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Participación del capital (marcar opción: solo nacional, mayoría nacional, mayoría extranjero, solo extranjero) • Nombre de la cámara o asociación a la que pertenece y # de registro de la misma • Datos de la compañía matriz o corporativo (nombre, país, estado o provincia, # Dun & Brandstreet) • Listado de instalaciones consideradas en el reporte consolidado² de compuestos y gases de efecto invernadero • Anexar el dictamen de verificación conforme al art 16 del Reglamento de la LGCC en Materia de RENE 	<ul style="list-style-type: none"> • Acta constitutiva de la empresa • Registro ante cámaras o asociaciones. Si hay más de una especificar la que sea más relevante • Dictamen de verificación conforme al art 16 del Reglamento de la LGCC en Materia de RENE • El número Dun & Brandstreet es un código de nueve dígitos que identifica y enlaza a todas las compañías de la base de datos dispersas en el mundo, se puede buscar en la documentación de la empresa • Inventario de instalaciones • Para el reporte consolidado se debe incluir los nombres de las instalaciones, sucursales, locales y lugares donde se almacenan mercancías o sitios que reportan compuestos y gases de efecto invernadero que se incluyen en éste 	

Notas generales

Nota 1: En este nuevo formato, existe la opción de compartir la información proporcionada con el INEGI para fines estadísticos, la aplicación preguntará al usuario si lo autoriza o no.

Nota 2: En este nuevo formato, el registro de todas las autorizaciones se hace en esta sección y no en las que son destinadas a información técnica como la 3 y 4 como lo pedía el formato anterior

Notas particulares

¹ Los **empleados verdes** son aquellos que realizan actividades que contribuyen substancialmente a preservar y/o restablecer la calidad del medio ambiente, cuyas actividades pueden incluir: medir, controlar o disminuir emisiones de contaminantes atmosféricas (EA), medir, controlar, disminuir o tratar aguas residuales (AR), medir controlar, disminuir, tratar, manejar o trasladar residuos sólidos, peligrosos y de manejo especial (RE), medir, prevenir y controlar radiación (RA), investigación y desarrollo (estudios o proyectos), enfocadas a la reducción de emisiones (aire, agua, suelo), residuos (peligrosos, sólidos municipales, manejo especial) (EP) y otras actividades de protección ambiental (OP)

² El **reporte consolidado** de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero, solo aplica para los Sectores de transporte, agropecuario, residuos y comercio y servicios.

LA INDUSTRIA METALÚRGICA

El sector de “metalurgia” comprende todas las actividades relacionadas con la extracción de minerales de metales, obtención de estos, fundición, refinado, laminación (primaria y secundaria), elaboración de productos (herramientas, maquinaria industrial, agrícola, postes, varillas, monedas, pilas, acumuladores etc.), tratamientos térmicos de metales y de reciclado de materiales que incluye la clasificación, selección, limpieza, tratamiento previo y fundición de chatarra, acumuladores y baterías.

Los materiales presentes en esta industria son los minerales de origen como óxidos, carbonatos sulfuros, silicatos entre otros y en productos, metales ferrosos (por ejemplo, aleaciones de hierro y acero) y no ferrosos (aleaciones de aluminio, cobre, zinc, plomo, plata, oro etc.), los insumos utilizados son muy variados y dependen de la actividad a realizarse en concreto, por mencionar algunos ejemplos se tienen aceites térmicos, fundentes, inhibidores y activadores (de flotación), aleantes entre otros. El consumo de energía varía según los procesos involucrados aunque en general el consumo es considerado alto.

Puesto que el sector de metalurgia es muy basto, fue necesario seleccionar aquellos subsectores que tienen una mayor importancia, siendo, para empezar, aquellos se incluyan en lo que se conoce como “siderúrgicas integradas” ya que éstas no tienen un subsector propio y sus diferentes procesos caen en varios de ellos, el siguiente recuadro muestra la relación de dichos procesos con el correspondiente subsector en donde se incluyen.

Recuadro 1. Procesos que pueden conformar una siderúrgica integrada, que además se explican en el presente documento y la relación que guardan con la clasificación industrial de la legislación mexicana

Unidad o proceso	Subsector correspondiente
Extracción y beneficio de mineral de carbón	68 producción de coque y otros productos derivados del carbón
Extracción y beneficio de mena de hierro	11 Minería de hierro
Coquización	68 producción de coque y otros productos derivados del carbón
Sinterizado	
Peletizado	11 Minería de hierro (por lo regular)
Alto Horno	
Reducción (del Fe) durante la fusión	
Pretatamiento del metal de primera fusión (arrabio)	
Horno básico de oxígeno (BOF)	

Unidad o proceso	Subsector correspondiente
Reducción directa de hierro	
Horno de arco eléctrico (EAF)	
Preparación y fundición de chatarra de hierro	LJ Fundición de chatarra de hierro, de aluminio, de bronce, de plomo y de otros materiales metálicos
Metalurgia secundaria	
Colada (continua o algún otro sistema)	Generalmente se incluye en el subsector de moldeo o laminación según corresponda
Laminación en caliente	7F Laminación primaria de hierro y acero
Laminación en frío	7I Laminación secundaria de hierro y acero
Fundición	7T Fundición y moldeo de piezas de hierro y acero
Moldeo	7T Fundición y moldeo de piezas de hierro y acero
Tratamientos térmicos	MD Tratamientos térmicos de piezas metálicas
Tratamientos termoquímicos	MD Tratamientos térmicos de piezas metálicas
Corte de metales (Información de apoyo ya que se lleva a cabo a lo largo de la industria metalúrgica)	Ninguno en particular
Soldadura de metales (Información de apoyo ya que se lleva a cabo a lo largo de la industria metalúrgica)	Ninguno en particular
Tratamiento y reciclo de gases (de alto horno, BOF, EAF, etc.)	Ninguno en particular
Manejo de escorias	Ninguno en particular
Recuperación de subproductos valiosos como NH ₃ , benzol (con BTX), (NH ₄) ₂ SO ₄ , etc.	Varia.
Tubos	7J Producción de tubos de acero

Nota: La sub sección de “minería” del presente documento tiene información general para esta actividad y sirve de apoyo para la explicación de la minería de Pb y Zn (subsector 14), la de hierro (subsector 11) y la de carbón. Así como también puede servir de base para la minería de otros materiales que se incluyen en subsectores como el “MK” (Minería de otros materiales no ferrosos), “12” (Minería de oro), “15” (Minería de cobre y níquel), “MJ” (minería de plata), “17” (Minería de manganeso) y “13” (Minería de mercurio y antimonio) y otros materiales que no tienen un subsector industrial particular (Cr, Cd, Sn, W, etc.) La minería de los metales anteriores no se detalla aquí como el caso del plomo y zinc dada la gran diversidad de éstos.

Para el caso de empresas más pequeñas que hagan alguna actividad que caiga en alguno de los subsectores anteriores, la explicación puede servir, al menos en lo general (sin sustituir a su propio proceso).

Para los metales no ferrosos, se incluyó lo correspondiente al aluminio, que es el de mayor importancia, en el siguiente recuadro se muestra la relación entre los procesos incluidos en este documento y el correspondiente subsector en el que se incluyen.

Recuadro 2. Procesos de metales no ferrosos que se incluyen en el presente documento y la relación que guardan con la clasificación industrial de la legislación mexicana

Unidad o proceso	Subsector correspondiente
Proceso Bayer para obtener alúmina a partir de bauxita	7L Afinación y refinación de otros materiales no ferrosos
Proceso Hall-Heroult para obtener aluminio metálico (fundido) primario a partir de alúmina (reducción electrolítica)	7L Afinación y refinación de otros materiales no ferrosos
Elaboración de ánodos de carbón (coque) para reducción electrolítica de alúmina	68 producción de coque y otros productos derivados del carbón
Pre tratamiento de chatarra de aluminio	LJ Fundición de chatarra de fierro, de aluminio, de bronce, de plomo y de otros materiales metálicos
Fusión de chatarra	LJ Fundición de chatarra de fierro, de aluminio, de bronce, de plomo y de otros materiales metálicos
Refinación y afinación de aluminio (primario y secundario)	7L Afinación y refinación de otros materiales no ferrosos
Fundición y moldeo de piezas de aluminio (primario y secundario)	ND Fundición y moldeo de metales no ferrosos
Laminado de aluminio	7Q Afinación y laminación de aluminio
Tratamientos térmicos (incluidos generalmente en la laminación)	MD Tratamientos térmicos de piezas metálicas

Respecto a las actividades de los subsectores 7P “Laminación de cobre y sus aleaciones” y el 7M “Laminación de otros metales no ferrosos” incluyen procesos que, para el nivel de explicación de este documento (al menos) son similares a los explicados para la laminación de hierro y acero.

Respecto a las actividades de construcción de maquinaria, se tiene una descripción general que aplica para los subsectores 8J “Fabricación de maquinaria y equipo para

diversos usos industriales” y el LK “Fabricación de maquinaria para uso agrícola y ganadero”. La información de corte y soldadura de metales y tratamientos de mejora (térmicos, termoquímicos), expuestos en metalurgia férrea sirven de apoyo. Los tratamientos químicos y electroquímicos de superficie (referidos comúnmente como “galvanoplastia”) que también se aplican en este sector, se ven en la guía del sector químico.

Finalmente, las actividades correspondientes a los subsectores ND “Fundición y moldeo de metales no ferrosos”, 7Z “Producción de herramientas de mano”, M8 “Fabricación de trofeos y medallas” y el A2 “Acuñación de monedas” tienen una gran similitud (al menos para este nivel de explicación) con las correspondientes a fundición y moldeo de metales ferrosos, correspondientes al sector 7T por lo que se puede recurrir a esta última como referencia.

En esta parte del documento, se dará una breve descripción de los procesos llevados a cabo por esta industria según la división por los subsectores industriales antes mencionados, los procesos incluidos son los que se consideran representativos ya que un análisis detallado de la tecnología usada y sus posibles alternativas y variables queda fuera del alcance de esta guía. Si bien las descripciones de proceso no substituyen a las que cada centro de trabajo tiene, pueden servir de apoyo para llenar el apartado 1.1 de la COA que pide un “Diagrama de Operación y Funcionamiento” de la planta o centro de trabajo.

Ya que a lo largo de los procesos descritos, se tienen equipos de combustión en donde los gases producidos solo dependen del combustible usado, en el anexo III se muestra una recopilación de los contaminantes característicos producidos según el combustible usado, de acuerdo con la base de datos SPECIATE 4.2 de la EPA y en el anexo II se pueden consultar los factores de emisión del IPCC para gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O).

Algunas palabras que conviene definir puesto que se utilizan frecuentemente en el texto son (Proesmin, 2006):

Minería

Colas: Las partes o parte, de cualquier material fluido que es rechazado o separado, de muy bajo valor o nulo. El material rechazado generado durante el proceso de la mena.

Ganga: material inútil que envuelve y acompaña a los minerales de valor, material estéril que es desechado.

Mena (“ore” en inglés): acumulación de minerales valiosos y recuperables por algún metalúrgico.

Pulpa: Mena o mineral que ha sido chancado y molido y se encuentra preparado con los reactivos listo para su proceso en las celdas de flotación.

Veta: Fisura, falla o rajadura de una roca que contiene minerales que migraron hacia arriba, provenientes de alguna fuente no superficial.

Veta: (yacimiento): cuerpos de mineral en forma alargada, limitados por planos irregulares de rocas denominadas "cajas". Generalmente en posición vertical, si la veta es horizontal se le llama "manto".

Yacimiento: es el lugar en donde se encuentra el mineral de interés (mena), aunque generalmente el significado se restringe al cuerpo de mena ("orebody").

Proceso de metales, posterior a la extracción y concentración de minerales

Acero crudo: Es el material que se encuentra libre de contaminantes (refinado), que está listo para la adición de aleantes, normalmente es el que se obtiene del convertidor de oxígeno (BOF) o de hornos de arco eléctrico.

Afinación (metalúrgica): ver refinación

BOF (Basic Oxygen Furnace): es la abreviación, en inglés de "horno básico de oxígeno", constituye una etapa que define la elaboración de acero "vía oxígeno".

Corazones (cores): en la fundición y moldeo de metales, son las piezas que sirven para darle la forma interior a la pieza, son como moldes internos, también se les llama centros o machos.

Condiciones estándar de temperatura y presión. Aplicadas a emisiones al aire y manejo de gases, a menos que se indique otra cosa son 273.15K y 101.3KPa base seca. Se representan por la letra "N" previo al de la unidad de volumen, por ejemplo "Nm³" significa metros cúbicos a condiciones "estándar de temperatura y presión".

EAF (Electric Arc Furnace): es la abreviación, en inglés de "horno de arco eléctrico", constituye una etapa que define la elaboración de acero "vía horno eléctrico".

Refinación: proceso mediante el cual, se eliminan las impurezas del metal, haciéndolo más puro, algunos autores lo manejan como sinónimo de "afinación", otros refieren la afinación como una etapa posterior a la refinación en la cual se adicionan, de manera controlada, los aleantes que le dan las propiedades deseadas al material.



Los procesos productivos que se describen en esta guía tienen propósitos ilustrativos siendo responsabilidad del usuario reportar el proceso que corresponda a su instalación con los detalles que este contiene

A continuación se presentan los principales errores identificados en las Secciones de las COAs reportadas por la Industria Metalúrgica del 2005 al 2009:

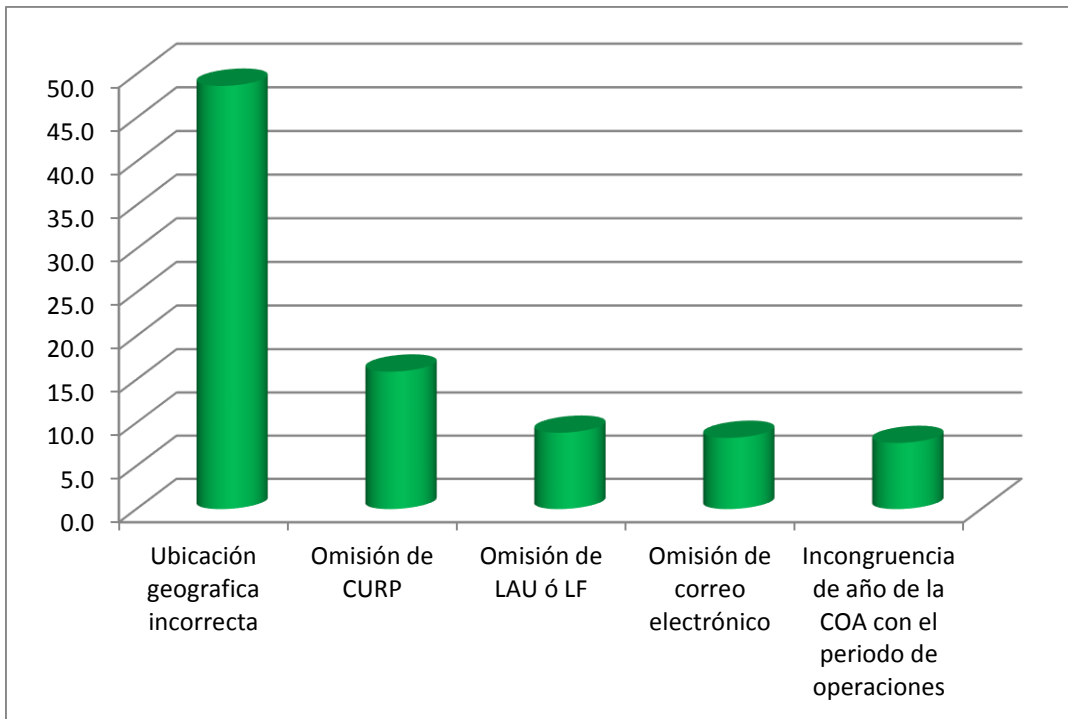


Figura 1. Errores más frecuentes en Datos de Registro de la COA (%)

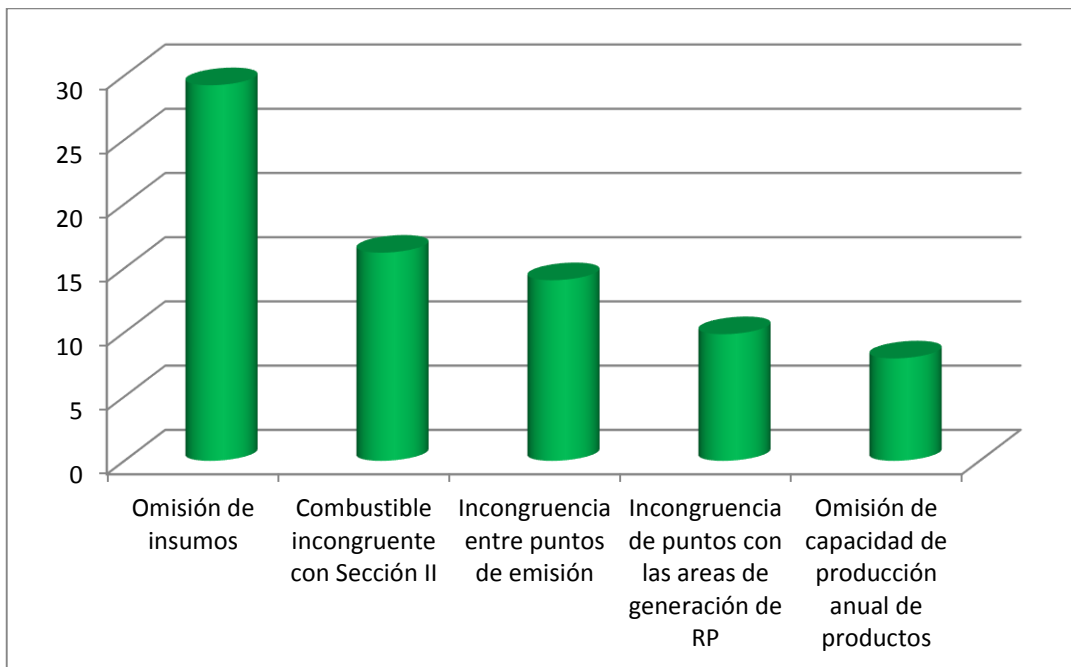


Figura 2. Errores más frecuentes en la Sección I de la COA (%)

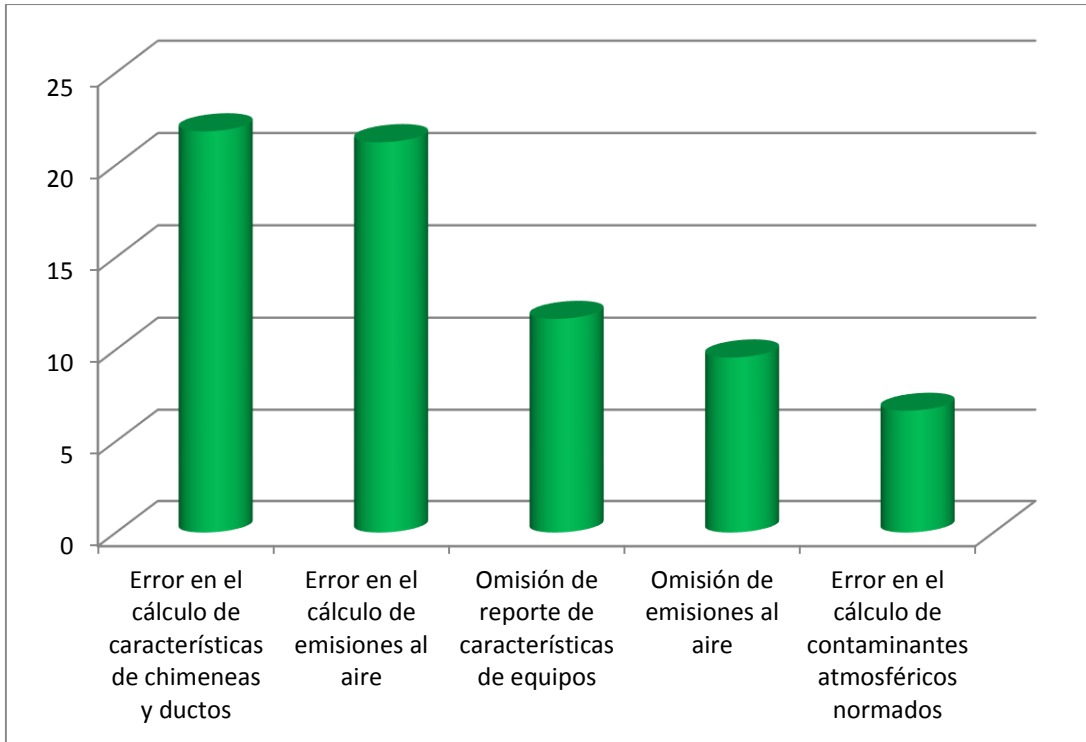


Figura 3. Errores más frecuentes en la Sección II de la COA (%)

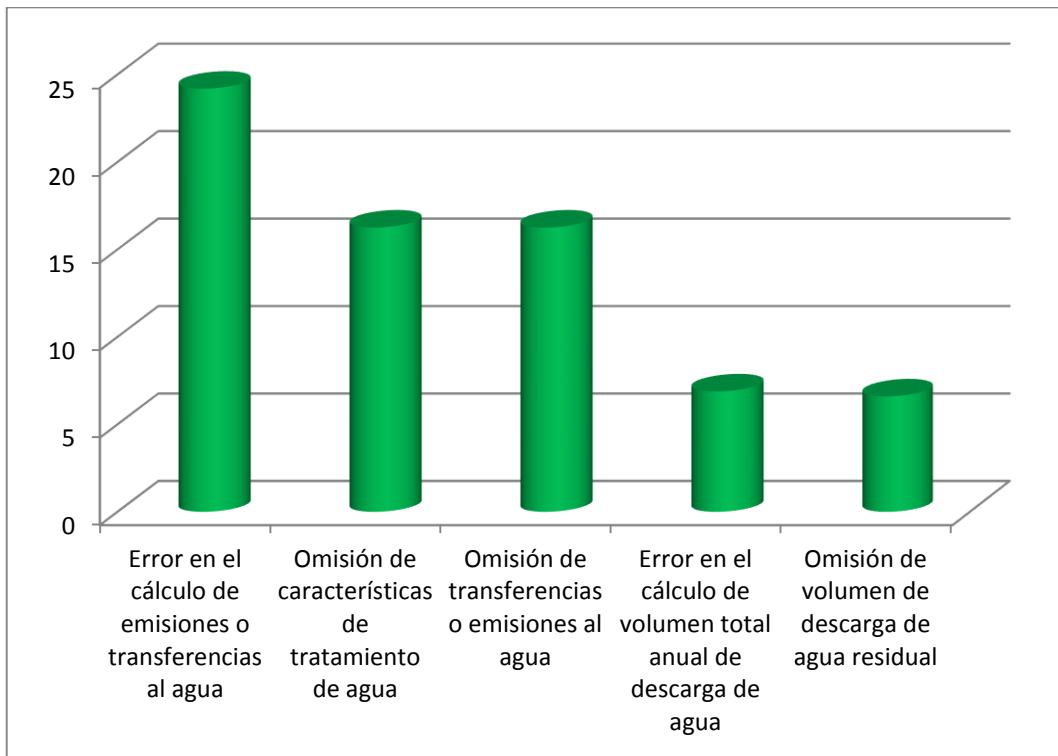


Figura 4. Errores más frecuentes en la Sección III de la COA (%)

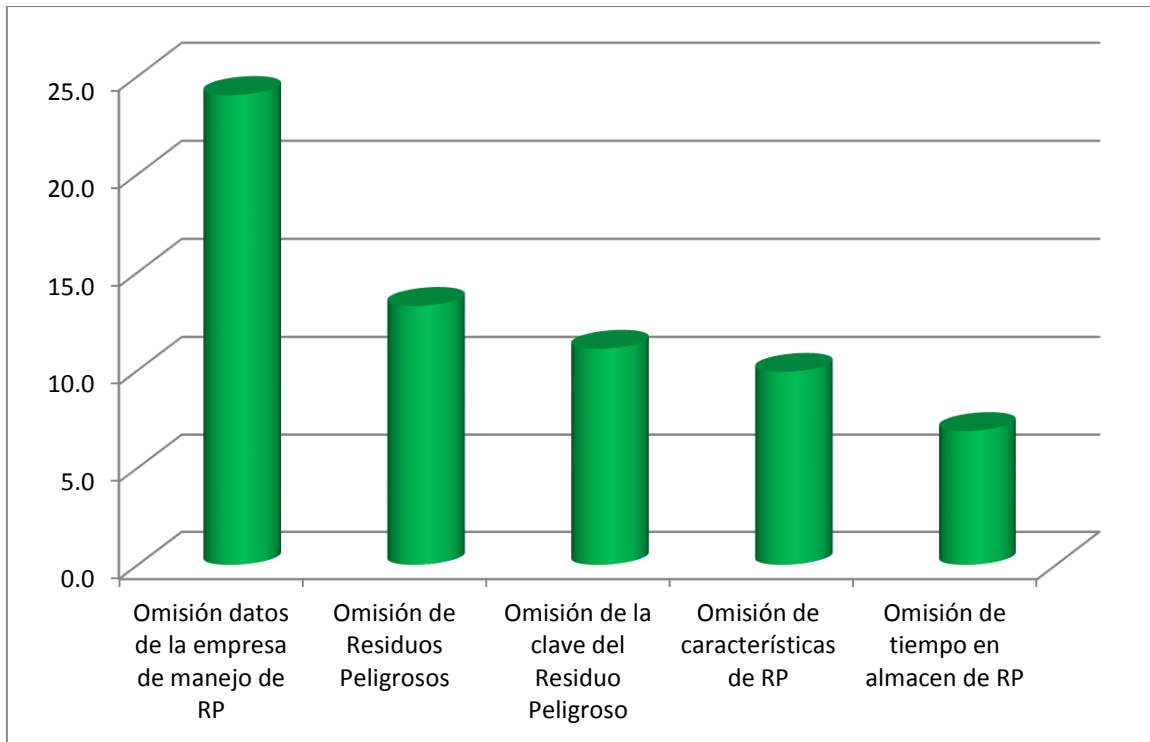


Figura 5. Errores más frecuentes en la Sección IV de la COA (%)

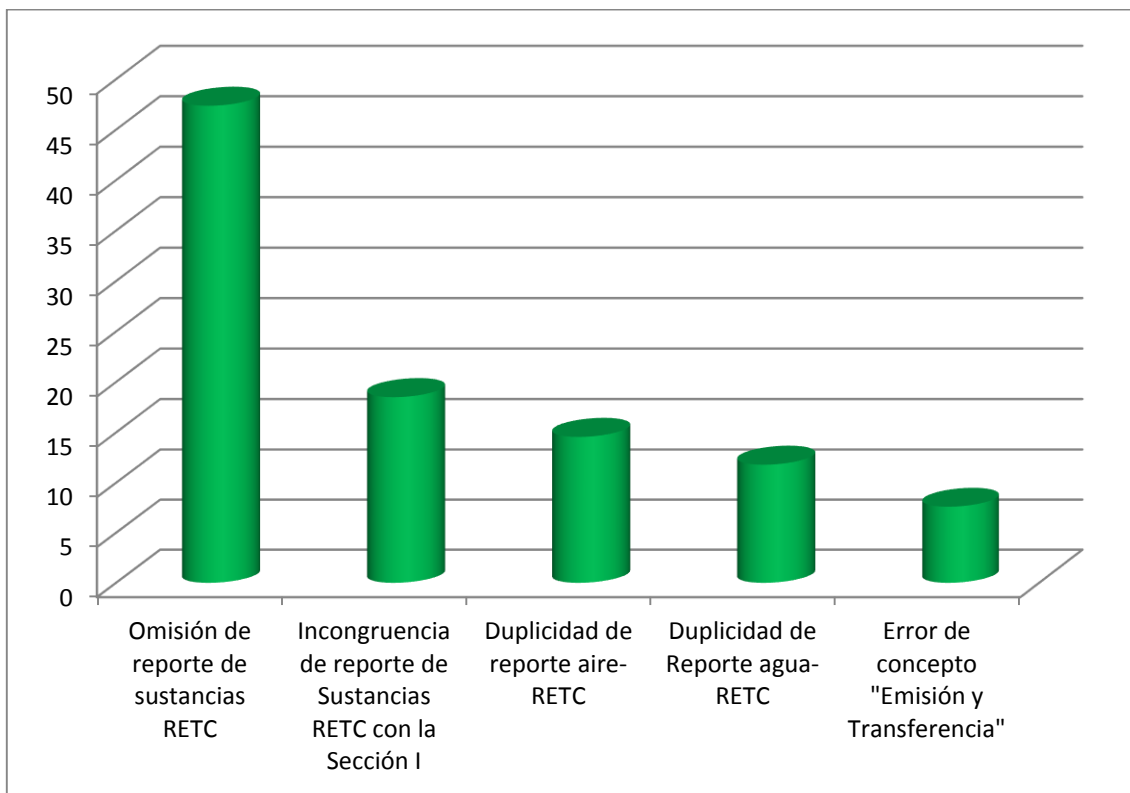


Figura 6. Errores más frecuentes en la Sección V de la COA (%)

Descripción General de los Procesos del Sector

MINERÍA

La preparación del terreno, La extracción de una mena (perforación, explosión, desescombro, carga y transporte entre otros), el procesado subsecuente y el manejo de las “colas” y ganga se consideran dentro la operación que comúnmente se conoce como “minería”, aunque el detalle de las técnicas y tecnologías utilizadas en minería es demasiado extenso para el alcance de este documento, los efectos ambientales están muy relacionados a ellos, por lo que una descripción breve y general es necesaria para entenderlos, por lo tanto, en esta parte del presente documento, se da dicha descripción que es general para actividades de minería de sólidos, como son minerales de metales como los de Fe, Al, Cu, Pb, Cu, etc. y minerales industriales como boratos, feldespatos, piedra caliza, talco, caolín, fosfatos, carbón etc (BREF, 2009).

Para la minería de sólidos, existen 4 tipos que son: a cielo abierto, subterránea, cantera y de lixiviación (Wills, 1994), la elección entre estas alternativas depende del valor del mineral, el grado de la mena, tamaño, forma, profundidad y localización del cuerpo de ésta así como de sus propiedades fisicoquímicas, condiciones ambientales del área de explotación, impacto ambiental de la operación, condiciones geológicas, hidrogeológicas, geoquímicas de las rocas, condiciones sísmicas del área y condiciones particulares de la superficie (vegetación, tipo de suelo, etc.), disponibilidad del terreno (usos del suelo), infraestructura variables económicas (permisos, impuestos, inversión, indemnizaciones, costos de operación etc.), condiciones (seguras) de trabajo, fracción de recuperación de la mena, continuidad de la operación, productividad entre otros (BREF, 2009).

Por lo regular, la parte más superficial del cuerpo de la mena es extraída mediante operaciones a cielo abierto, pero con el paso del tiempo, se hace necesario aumentar la profundidad de la depresión hasta que se hace económicamente insostenible, lo que lleva al término de la actividad productiva en muchas ocasiones ya que los costos son significativamente mayores, la extracción de mena es frecuentemente menor y menos continua en la minería subterránea, además de tener que superar los “inconvenientes” anteriores, los límites de estabilidad en las rocas son otro límite importante a considerar para pasar a este tipo de minería (BREF, 2009).

La minería a cielo abierto genera una gran cantidad de ganga que se deposita cerca de la depresión, ésta se puede triturar y vender como agregado si sus características lo permiten (y hay mercado) o se puede utilizar como relleno para depresiones abiertas ya explotadas o incluso en aquellas en explotación (BREF, 2009).

Los grados encontrados en diferentes cuerpos de mena varían mucho de un caso al otro aunque aquellos que son de minerales industriales tienen un grado visiblemente superior, siendo del 50 hasta el 99%, mientras que para el caso de minerales de

metales son generalmente inferiores (o muy inferiores) al 10% (BREF, 2009).

Tipos de yacimientos (cuerpos de mena)

Éste tiene una gran influencia en la forma de explotación minera, a reserva de tratar este tema con detalle técnico, se puede decir que existen los yacimientos sedimentarios o de manto (seam), de veta, masivos (como los de sulfuros de varios metales con diferentes grados o los de piedra caliza con grados muy homogéneos) y los diseminados o sueltos que tienen su origen en material erosionado (Wills, 1994), (BREF, 2009).

La minería de cantera es generalmente a cielo abierto aunque en algunos casos se utilizan técnicas de minería subterránea o ambas, lo que la distingue es que no requiere que los productos se concentren y en algunos casos, se utilizan prácticamente como se extrajeron, por esta razón también se conoce como minería de “placer” ya que es sencilla a comparación de los otros productos, los productos obtenidos en minería de cantera son los mármoles, granitos, calizas y pizarras (Wills, 1994).

Métodos de minería subterránea

Existen muchas maneras de explotar un yacimiento que se pueden clasificar como de minería subterránea, los más comunes se muestran en el siguiente recuadro.

Recuadro 3. Tipos de minería subterránea (Hustrulid, 1982)

Método de minería subterránea	Aplicación común
Cara continua, con soportes temporales de techo. (longwall minning)	Roca suave en yacimientos de manto o sedimentos planos y delgados
Cámara y columnas (room & pillar mining)	Para yacimientos masivos con estratos inclinados o de manto plano
De parada en subniveles (sublevel stoping)	Para yacimientos masivos o diseminados muy inclinados o verticales (vetas)
Corte y llenado (cut & filling mining)	Para yacimientos firmes, de manto, veta, masivos o diseminados, permitiendo selectividad y mecanización de la operación
De subniveles y excavado de bloques (sublevel & block caving)	Para yacimientos masivos o diseminados, con cierta inclinación, con perspectivas de un desarrollo extenso (como las existentes para hematita, magnetita y siderita)

La reducción de colas de proceso es ambientalmente importante y se puede lograr a partir de la implementación de un método de minería selectivo, tratando de generar una alimentación con una mayor concentración de los minerales de interés, lo que

inherentemente reduce la cantidad de colas generadas, otra forma de reducirlas es aumentando la recuperación del mineral deseado, al tener alimentaciones al proceso más concentradas se aumenta dicha capacidad, independientemente de las mejoras al proceso que también tengan este efecto.

MINERALOGÍA

En la minería, es posible diferenciar minerales que tienen una composición química determinada como óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos, independientemente de su estructura cristalina (que propiamente lo termina de definir como minerales) y de alteraciones diversas (como la erosión), el tipo de minerales (formula química y estructura cristalina) y la forma en la que se encuentran conformados o integrados (en rocas, mantos, estratos, vetas etc.) constituyen la base para el procesamiento subsecuente y de igual modo, la de las colas y ganga generadas, por este motivo, el conocimiento profundo de la composición mineralógica es de suma importancia.

La “mineralogía” es determinada por la naturaleza y determina en muchos sentidos la extracción y recuperación de los minerales de interés, así como de la generación de ganga y colas y frecuentemente “cambia” de un yacimiento a otro, dentro del mismo (de una zona de éste a otra) y por lo tanto, durante el tiempo de operación de la mina, algunas veces estos cambios se conocen bien y se puede hacer la planeación correspondientes, otras ocurren de manera “inesperada”, los cambios generales son los siguientes:

1. El cambio composición química, por ejemplo, de óxidos en la superficie a sulfuros en zonas más profundas, lo que requiere de un proceso y métodos de manejo de colas muy diferente.
2. EL cambio de mena de un metal a otro, por ejemplo, de tener minerales de Zn a Cu, lo cual puede requerir también de procesos diferentes y otras implicaciones.
3. El cambio de un tipo de mineral a otro, por ejemplo, de tener magnetita a hematita, ambos son óxidos y de ambos se extrae hierro (Fe) pero el cambio puede demandar cambios visibles en los procesos, además, ambientalmente los sulfuros tiene una mayor influencia en la generación de drenajes ácidos.

Tener un conocimiento profundo y adecuado de la mineralogía del yacimiento a explotar permite generar procesos económica y ambientalmente sustentables, reducir el consumo de energía e insumos y tener mayores posibilidades de reutilizar, coprocesar, reciclar, tratar y/o disponer adecuadamente de las colas y la ganga.

ACTIVIDAD MINERA

De manera muy general, la actividad minera incluye las siguientes etapas, independientemente del tipo de material de interés a extraer, las características del yacimiento y otros aspectos antes mencionados.

1. Exploración,

2. Planeación y estudios de desarrollo,
3. Extracción de la mena,
4. Procesado de la mena,
5. Cierre y remediación de la mina.

La exploración

Incluye la búsqueda preliminar de zonas con potencial de albergar materiales de interés, la búsqueda detallada, pruebas de identificación de minerales y estimación de beneficio económico. Esta etapa emplea maquinaria pesada (barrenos principalmente) y está asociada a un impacto ambiental considerable por la destrucción de la capa fértil (Volke, 2005).

Los métodos utilizados para determinar la presencia de minerales de valor son la polarización inducida, el sondeo geofísico a partir de la resistividad magnética (que también sirve para determinar el impacto ambiental a acuíferos) y los derivados de la geobotánica que se basa en la capacidad de las plantas de absorber iones metálicos, presentes en la zona.

Una vez que se determina la presencia de minerales valiosos, es necesario cuantificarlos (cuanto mineral puede haber, que concentración del metal de interés hay etc.), para ello puede ser necesario utilizar exploraciones más detalladas, cuyo detalle depende de las características del yacimiento, cuando éste es profundo se requiere de técnicas de barrenado apoyados con estudios técnicos más detallados. Algunas veces, los barrenados de profundidad de exploración, necesitan ser rellenados, ya sea por un resultado negativo (no se va a explotar esa área) o en lo que se adecua la zona para iniciar la extracción, operación que puede tardar años.

La planeación y estudios de desarrollo

Incluye los estudios de factibilidad, ingeniería de proceso (selección del método de extracción), impacto ambiental, estudios socioeconómicos y el proyecto de construcción (Vega, 1999).

La extracción de mena

Se diseña para cada yacimiento, en términos generales consiste en la perforación, explosión, desescombro, recolección, carga y transporte (a las 3 últimas actividades se les conoce como “rezagado”), aunque en ocasiones el triturado primario se hace in situ con exploraciones subsecuentes o con máquinas instaladas a un lado del sitio, esto para reducir costos (AIMMPE, 1986).

Una vez que se ha aprovechado una zona, se rellenan los huecos y estabiliza para que pueda procederse a la siguiente, la forma de hacerlo puede variar según la técnica de minería utilizada (AIMMPE, 1986).

Ambientalmente genera ruido, gran cantidad de ganga y el terreno queda marcado permanentemente con cráteres, destrucción de cerros, destrucción de capa vegetal por acidificación (Vega, 1999).

El procesado de la mena

Consiste básicamente en operaciones de reducción de partícula y separación para obtener concentrados de minerales útiles, para ello se recurre a procesos físicos generalmente aunque algunos son fisicoquímicos como la flotación (Volke, 2005).

Cierre y remediación de la mina

Cuando la mineral se agota o su extracción ya no es rentable, se llevan a cabo una serie de operaciones para restituir las condiciones del sitio: las minas se rellenan, se retiran los equipos y la ganga, se neutralizan los residuos químicos y se inicia un programa de reforestación (Vega, 1999).

OPERACIONES GENERALES UTILIZADAS EN EL PROCESADO DE LA MENA

EL propósito del proceso de los minerales es el de convertir la mena bruta o prima en un producto de valor agregado, para el caso de metales, éste sirve como materia prima para la obtención de su forma metálica (Wotruba, 2002).

Aire de secado

Algunos procesos, ocasionalmente llegan a incluir una etapa de secado con aire caliente que es generado por un calentador que utiliza algún combustible (combustóleo, diesel, gas natural) para generarlo. La ubicación de esta etapa puede variar (GTZ, 1996).

Como ejemplo, algunas instalaciones de extracción y procesamiento de asbestos lo emplean en una etapa conjunta de tribulación secundaria, para reducir las partículas de minerales de asbestos en etapas posteriores, lo que implica la generación de gases de combustión (según el combustible utilizado) y para este caso particular, partículas suspendidas provenientes de los minerales (asbestos), por lo general el equipo incluye un ciclón para reducir lo más posible la emisión de estos contaminantes (GTZ, 1996).

Reducción de tamaño de partícula

Es un elemento esencial para poder procesar cualquier mineral, requiere un consumo grande de energía y los equipos que la llevan a cabo requieren de mucho mantenimiento, se hace en etapas en donde gradualmente se reduce el tamaño de partícula, al llevarlo a cabo se logra (Wotruba, 2002):

1. Liberar el mineral de interés de la matriz en donde se encuentra "atrapado".
2. Lograr el tamaño de partícula necesaria para transportarlo y para procesos

- posteriores.
3. Para aumentar la superficie de contacto por unidad de masa, lo que ayuda a la interacción con compuestos químicos usados en algún proceso (como el lixiviado o la flotación).
 4. Para cumplir con especificaciones de comercio.

La reducción progresiva del tamaño de partícula se logra con una secuencia de operaciones de trituración y molienda, una vez que la mena pasa por este proceso, frecuentemente se convierte en una lechada que contiene los minerales de interés y los de colas, por lo que debe de ser separados en etapas posteriores del proceso, las propiedades fisicoquímicas de la lechada, son determinantes para este proceso y los dos anteriores, para la conformación de las colas.

Trituración

Es la primera etapa del proceso de reducción de tamaño de partícula, usualmente es en seco e involucra el rompimiento y resquebrajamiento de las rocas de mena al comprimirlas contra superficies rígidas o al impactarlas sobre superficies duras de forma controlada. Los equipos que se utilizan para triturar son (Wotruba, 2002):

1. De quijada,
2. Giratorios,
3. De cono,
4. De rodillos (dentados o planos),
5. De impacto.

Por lo general se produce polvo en estas operaciones que puede ser mitigado rociando agua, también estos equipos demandan lubricación, generando aceites gastados y grasas. El ruido que producen es por lo regular elevado y demanda protección, otros contaminantes pueden incluir vertidos de fluidos hidráulicos y líquidos de baterías que deben de ser propiamente contenidos y dispuestos (Wotruba, 2002).

Molienda

Generalmente son las etapas finales del proceso de reducción de partícula y consume más energía que muchas otras etapas de proceso de minerales, por tal motivo se prefiere muchas veces, hacer explotar las grandes secciones de la mina y luego triturar para dejar para la molienda tamaños de partícula menores y de esta manera consumir menos energía, de ser posible se prefiere la operación en base húmeda ya que reduce el consumo de energía en un 30% respecto a la seca. En esta operación el tamaño de partícula se reduce por impacto y abrasión de la mena por el movimiento libre de cuerpos de molienda como bolas, rodillos u otras formas hechas de algún tipo de acero, hierro forjado, cerámicos, rocas duras o guijarros dentro del molino. Los equipos más comunes para esta operación son los siguientes (Wotruba, 2002):

Molinos rotatorios

Consisten en un casco cilíndrico, generalmente de algún tipo de acero que puede girar sobre su eje horizontal, abierto en sus extremos para recibir y descargar el material, dentro de éstos hay cuerpos de molienda (bolas, rodillos, guijarros entre otros), los molinos de rodillos se utilizan generalmente para productos con un tamaño de partícula menor a 1mm, los de bolas para tamaños menores 100 μ m, los autógenos (el mineral se muele a sí mismo, con guijarros de dicho material) y de bolas en secuencia para tamaños menores a 1,500 μ m, autógenos y semi autógenos, en algunos casos por si mismos pueden dar un producto menor a 100 μ m (Wotruba, 2002).

Algunos de estos molinos se pueden no solo en la secuencia típica de reducción de tamaño de partícula, sino como una etapa entre otras de distinta clase (por ejemplo etapas de reacción fisicoquímica, como en la flotación).

El grado de molienda es determinado por las características del material y el método elegido, sin embargo, el moler de más, genera lodos que pueden afectar la eficiencia del proceso (como en la flotación) y generar colas más estables que son difíciles de secar o desaguar, lo que las hace más difíciles de manejar y ambientalmente más dañinas (Wotruba, 2002).

Molinos agitados (o molinos de torre): Se usan para obtener un molido en húmedo muy fino, estos equipos son cilindros verticales (generalmente de algún tipo de acero), que tienen en su interior un medio de molienda que ocupa entre el 80 y 90% de su espacio, el cual es agitado por eje interno voladizo, tienen una capacidad máxima de 100ton/h y la alimentación debe de tener un tamaño de partícula igual o menor a 1mm, el tamaño de partícula del producto está entre 100 y 1 μ m (Wotruba, 2002).

Molinos vibradores: Se utilizan para un molido fino en base seca o húmeda, son cilindros horizontales cuyo volumen interior ocupa un medio de molienda (60 a 70% del volumen total) agitado por una transmisión excéntrica, tienen una capacidad máxima de 15ton/h y el producto tiene un tamaño de partícula inferior a 10 μ m.

Tamizado

Es una operación mecánica que busca separar partículas de acuerdo al tamaño que éstas presentan basándose en el paso de éstas por las aberturas de una superficie sólida (malla de separación), las partículas de mayor tamaño no pasan la malla constituyen el "grueso" o los "gruesos" y las que sí, el "fino" o los "finos". Las razones más importantes para tamizar materiales en el procesamiento de minerales son: para evitar que entren finos a los trituradores, para evitar que los gruesos entren a etapas de proceso en donde no son adecuados, para producir material dentro de un intervalo de tamaños de partícula (Wotruba, 2002).

Clasificación y separación por el tamaño de partícula

Consiste en separar las partículas sólidas en dos o más productos de acuerdo a su velocidad de caída a través de un medio, la velocidad depende del tamaño de partícula, la densidad y la forma, dentro del procesamiento de minerales, esta operación se hace preferentemente en base húmeda, donde el agua es el medio, la clasificación en seco utiliza aire como tal y se utiliza más en la industria del cemento, cal y carbón. La clasificación y separación de minerales aquí descrita se utiliza para minerales que son muy finos para poderse separar efectivamente por medio del tamizado. Los equipos que se utilizan para la separación y clasificación de material particulado son los siguientes (Wotruba, 2002):

Hidrociclones

Consisten en un recipiente cilíndrico con una entrada tangencial unido a una parte cónica inferior, el material alimentado es acelerado mientras rota adentro del equipo, llevando las partículas gruesas hacia la pared interior, desde donde se mueven hacia abajo a lo largo de la parte cónica para luego salir del equipo como flujo bajo (underflow), mientras que las partículas finas se quedan en el centro del fluido, formando una corriente ascendente que sale del equipo a través de la salida superior, para evitar “atajos” la corriente de salida superior es conducida a través de una pieza interior (como tubería) conectada a la salida superior, que se conoce como encausador de vórtice (Wotruba, 2002).

Estos equipos son muy utilizados en el procesamiento de minerales para separación de finos (comúnmente $<100\mu\text{m}$), frecuentemente en circuitos cerrados de molienda para alimentar a secciones de flotación o lixiviado o en la preparación final de productos de tamaño de partícula muy fino (como el caolín), también son muy eficientes para eliminar finos que puedan causar lodos, eliminar arenas (gruesos) y espesar corrientes (Wotruba, 2002).

Clasificadores mecánicos

Consisten en un tanque de sedimentación con lados paralelos y una base inclinada, que está equipada con un dispositivo que constantemente promueve la agitación de la pulpa y retira los sólidos sedimentados, la alimentación que llega a este equipo se encuentra con una “piscina” en donde las partículas pesadas que contiene se sedimentan a mayor velocidad que las ligeras en donde la inclinación y/o tornillos sin fin las arrastran del fondo hacia afuera, al tiempo que ocurre esto, las partículas finas son separadas al ser conducidas hacia otra salida por el sobrenadante. Se utilizan en la industria de la arena y grava y en plantas pequeñas de procesamiento de mena de varios tipos, en general se usan para operaciones de separación de productos de molienda, desaguado, lavado y eliminación de lodos aunque actualmente se prefiere el uso de sistemas de hidrociclones en plantas de procesamiento de mena grandes (Wotruba, 2002).

Concentración por gravedad

Es una colección de métodos para separar minerales que tengan una densidad diferente utilizando la gravedad y por extensión, la fuerza centrífuga o la resistencia a moverse en un fluido viscoso, como agua o aire, la partícula en movimiento en un fluido depende de su densidad, tamaño y forma, dado que no se requieren insumos o sustancias reactantes para que ocurra (entre otras razones), es una alternativa a la flotación y al lixiviado. Algunos equipos que utilizan este principio son los decantadores, sedimentadores, separadores centrífugos, (DSM, DWP), equipos de “baile vertical” (jigging), mesas vibratoras, espirales y conos, estos se aplican ampliamente en la industria minera (Wotruba, 2002).

Flotación

Consiste en la separación de minerales utilizando las diferencias en sus propiedades fisicoquímicas de superficie para que en un momento dado, después de acondicionar la lechada con diversos compuestos químicos, formando la pulpa de flotación, una parte de las partículas que la conforman se vuelvan hidrofóbicas (o aerofílica) mientras que otras permanezcan hidrofílicas. La separación selectiva se ayuda con burbujas de aire que reúnen en su superficie las partículas hidrofóbicas (o aerofílicas), llevándolas a la superficie, formando una espuma estable que puede ser removida (Wotruba, 2002).

Los procesos de flotación generalmente consisten en varias etapas, constituidas por celdas de flotación, en las que se generan concentrados de minerales deseados, extrayendo lo más posible de ellos de las colas. Las celdas de flotación pueden ser neumáticas o mecánicas. Ese proceso de separación fisicoquímico se desarrolló originalmente para el procesamiento de mena compuesta por sulfuros de Cu, Pb y Zn, obteniendo concentrados de alta pureza de los minerales correspondientes y aunque esta es la principal aplicación, actualmente también se utiliza para tratar menas de óxidos como la casiterita y hematita, de minerales no metálicos como el carbón, fluorita, fosfatos y potasa, y de minerales oxidados como la cerusita y la malaquita. En secciones posteriores se abordará con más detalle la flotación de Cu, Pb y Zn (Wotruba, 2002).

Separación magnética

Se basa en la diferencia de propiedades magnéticas de los diferentes minerales, en general, éstos se pueden dividir en 3 grupos que son: diamagnéticos que son materiales que son repelidos por un magneto por lo que no es posible separarlos de esta forma, paramagnéticos, que son débilmente atraídos por un magneto y pueden ser concentrados separadores magnéticos de alta intensidad y ferro magnéticos que son fuertemente atraídos por un magneto, por lo que se pueden concentrar en separadores magnéticos de baja intensidad (Wotruba, 2002).

Los usos más comunes de estos equipos son:

1. Separadores en seco de baja intensidad, que incluyen separadores de tambor usados principalmente para separar arenas gruesas (peinado), de cinturón y

de disco, que también se utilizan en el limpiado de arenas de fundición para separar residuos de metal (principalmente hierro).

2. Separadores base húmeda de baja intensidad, que incluyen separadores de tambor empleados para limpiar el medio utilizado en circuitos de separación de medio denso (DMS), usados para tratar arenas ferromagnéticas, bobinas magnetizantes y desmagnetizantes.
3. Separadores en seco de alta intensidad, que incluyen separadores de rodillos usados en la concentración de menas de fosfato, arenas para vidrio, arenas de playa, menas de estaño y wolfamita.
4. Separadores en base húmeda de alta intensidad, aplicados principalmente para el procesamiento de mena de hierro que contiene hematita.

Separación electrostática

Consiste en el uso de fuerzas actuando en un cuerpo cargado y polarizado dentro de un campo eléctrico para separarlo de otros que reaccionan de diferente forma en tal condición, diferentes partículas, según su conductividad seguirán rutas diferentes en un campo eléctrico, haciendo posible separarlos, otras variables que intervienen son el tamaño, la forma, la densidad, la condición de la superficie y la pureza, para utilizar esta técnica se requiere que las partículas estén completamente secas y que el aire que las rodee tenga una humedad controlada, los separadores electrostáticos se dividen en aquellos que son de plancha y de pantalla. Comúnmente se utilizan en la concentración de minerales industriales como ilmenita, rutilo, zircón, apatita, asbestos, hematita y potasa (Wotruba, 2002).

Separación de “criterio” (sort by)

Separación manual. Consiste en permitir que personal de la instalación separe los materiales utilizando sus sentidos (principalmente la vista) y manos, dadas las exigencias de la industria actual, este método es raramente empleado por sus limitaciones (Wotruba, 2002).

Separación fotométrica, Consiste en separar materiales en diferentes fracciones después de examinarlas ópticamente, la alimentación debe de tener partículas grandes (más de 10mm de diámetro), características detectables o la combinación de propiedades que permitan una discriminación adecuada, la base de un “separador óptico” es una fuente de luz y un sensor fotomultiplicador que se usan en un sistema de “escaneo” para detectar la luz reflejada por las superficies de las partículas de la alimentación, la información se analiza en una computadora que produce señales a elementos de control como válvulas y dispositivos neumáticos de rechazo para separar ciertos cortes con características inapropiadas, según una serie de criterios programados (Wotruba, 2002).

También existen procesos de separación radiométrica (con menas de mineral de

uranio por ejemplo) y electrométrica (prueba de resistividad).

Lixivado

Es un método donde los minerales valiosos son selectivamente disueltos de la lechada por un lixiviante, que normalmente es una solución acuosa, el resultado es una corriente rica en componentes valiosos que posteriormente necesita tratarse para recuperarlos de ella, generalmente por precipitación. El componente valioso puede aparecer en el material que está siendo lixiviado como partícula libre, como partícula inmersa en más de una fase en donde el mineral valioso se expone por un solo "lado" al lixiviante y como material inaccesible rodeado de ganga, en los dos primeros casos es posible lixiviarlo (Wotruba, 2002).

Existen varias técnicas de lixiviado como las de lecho fijo, (percolación, de pila, in situ), en lechada (tanque agitado o tanque de presión), también es posible utilizar métodos biológicos de lixiviado que utilizan bacterias como la thio bacillus ferrooxidans o la thio bacillus thiooxidans que generan compuestos que lixivian los minerales de interés (Wotruba, 2002).

Cuando se utiliza esta técnica in situ entonces se conoce como minería de solución o de lixiviación e implica una complejidad mayor, así como potenciales efectos ambientales mayores.

Se utiliza en la extracción de la roca de sal, potasa, oro (disolución de oro elemental en soluciones de cianuros) y plata, mena de uranio (disolución de uraninita en soluciones de carbonatos), cobre y otras sustancias residuales.

Eliminación de agua

Puesto que el agua es un compuesto presente en muchos procesos por muchos motivos, se hace necesario removerla de lechadas y corrientes en muchos casos, para hacerlo existen una gran cantidad de técnicas para hacerlo a conveniencia.

Espejado: Usado ampliamente en el pre desaguado de concentrado y colas para reciclado de agua dado su bajo costo y capacidad grande comparada con la de filtrado, el equipo consiste en un tanque (los hay de muchas formas, por lotes o continuos) que permita la sedimentación de partículas de tal modo que se forme una fase líquida clara (Wotruba, 2002).

Filtrado

Se define como una forma de separar sólidos de un medio líquido usando un medio permeable que retiene los sólidos y permite el paso del líquido, comúnmente esta operación sigue después del espejado, para la industria de la minería los filtros de torta son muy comunes que sirven para recuperar agua de lechadas muy concentradas, éstos son esencialmente filtros de vacío o de presión según los medios usados para generar el diferencial de presión sobre los dos lados del medio

poroso, los hay continuos y por lotes (Wotruba, 2002).

Los filtros de presión más comunes son los de prensa, que a su vez pueden ser de cámara y de placas, la presión de operación puede llegar hasta los 25 bar. Los filtros de vacío pueden ser varios como los continuos de tambor, de discos y de cinturón horizontal (Wotruba, 2002).

INSUMOS UTILIZADOS EN LA FLOTACIÓN

Los procesos de flotación utilizan diferentes reactivos químicos y también diferentes puntos de aplicación varía mucho, según el tipo de mena y características finales del concentrado mineral deseado. Según el objetivo para el que se emplean estos reactivos se clasifican en:

1. Colectores,
2. Activadores/depresores,
3. Espumantes,
4. Otras funciones (reguladores de pH, floculantes, dispersantes etc.).

Colectores

Generalmente son sustancias orgánicas que se adsorben en la superficie de la partícula, haciéndola hidrofóbica y por consecuencia ayudándola a adherirse a la burbuja y flotar; la selectividad y potencia de los colectores varía ampliamente. Entre los más usados están los xantatos, los oleatos carbanilidas, difenil tio ureas, el ácido fosfo-cresílico. Los colectores pueden ser aniónicos, catiónicos o neutros (Proesmin, 2006), (BREF, 2009).

- *Colectores aniónicos.* Tienen un grupo polar negativo asociado a la cadena principal, pueden ser tiólicos u oxihidrílicos; los primeros tienen en el grupo polar azufre bivalente y se utilizan para flotar sulfuros, la cadena generalmente es un xantato o un ditiofosfato, aunque también se utiliza la tiocarbanilida y mercaptobenzotiazol y los xantogenados. Los segundos son utilizados para minerales no sulfurados, la cadena principal puede ser un carboxilato, sulfato orgánico o sulfonatos.
- *Colectores catiónicos.* Tienen un grupo polar positivo (amino primario o cuaternario) asociado a la cadena principal; se asocian a cloruros o acetatos para mejorar la solubilidad.
- *Colectores neutros.* No tienen un grupo polar (o altamente polar) como el petróleo y el keroseno, pero se utilizan como complementos de otros colectores para aumentar la separación.

Activadores/depresores

Son compuestos que se adicionan para diferenciar entre dos o más especies que reaccionan igual ante un colector. El activador promueve la reacción de sólo una especie (activación) o la impide (depresor) para lograr la separación. Entre los compuestos utilizados están la cal, sosa, varios tipos de sulfatos, almidones, caseína, silicatos, sulfuros y cianuros (Proesmin, 2006).

Espumantes

Ayudan a separar los compuestos hidrófilos de los hidrófobos, algunos muy utilizados son el aceite de pino, el ácido cresílico, el isobutil carbinol y el éter polipropilén glicol (Castro, 2003). Funcionan reduciendo la tensión superficial para engrosar la película de las burbujas y estabilizarlas; si la tensión superficial baja demasiado se inhibe la flotación, por lo que no se usan espumantes potentes como los jabones (Castro, 2003), (Proesmin, 2006).

Otras funciones

Existen reactivos que se adicionan para fines específicos como: regular el pH (ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico), floculantes, dispersantes, sulfurantes (como el H_2S/N_2 , que forman sulfuros cuando se trabaja con minerales de metales oxidados), estabilizantes (para impedir la descomposición de reactivos) y oxidantes (Wills, 1994), (Proesmin, 2006).

Otros compuestos que se utilizan para acondicionar la pulpa son el dióxido de azufre, oxígeno, cloroformo, carbón activado y diversos sulfatos (de cobre, zinc) que ayudan a desplazar el equilibrio de las reacciones deseadas hacia la dirección deseada (USEPA, 1995b).

Es común que un reactivo tenga varias propiedades, en mayor o menor grado; por ejemplo el almidón es un dispersante fuerte y también, en cantidades mayores, es un depresor de sulfuros y metales nativos. Por lo tanto, es posible que la industria tenga reactivos empleados en diferentes partes del proceso y con propósitos claramente diferentes.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA (GENERAL)

El impacto propio de la extracción, incluyen daños ambientales notables como la destrucción de la orografía, la flora y fauna del lugar, además se genera una gran cantidad de polvo y partículas y durante las explosiones se generan gases de combustión (Volke, 2005).

Los venteos de las minas subterráneas tienen emisiones al aire que pueden incluir, partículas sólidas suspendidas (que contienen metales) SO_2 , NO_2 y CO_2 . El metano puede estar presente en algunos casos también, lo que puede representar un riesgo a la seguridad laboral además de su impacto ambiental (BREF, 2009).

Las emisiones a la atmósfera de la minería de metales (Fe, Al, Cu, Zn, Pb etc.), considerando todas las operaciones realizadas, puede incluir los siguientes contaminantes (USEPA, 1995b).

Recuadro 4. Emisiones de diferentes contaminantes a la atmósfera en la industria minera de metales. Con información tomada de (USEPA, 1995b)

Sustancia química	Número de Instalaciones	Emisiones medias lb/año/instalación	Emisiones totales lb/año/instalación
acetaldehído	3	200	546
acetona	8	147	19,366
acroleína	3	136	381
ácido acrílico	2	72	143
acrilonitrilo	2	92	185
anilina	2	126	251
antimonio	38	1,568	1,499,719
arsénico	60	636	2,189,992
bario	62	77	54,284
benceno	15	226	9,929
cloruro de bencilo	2	67	1 134
berilio	2	1	3
bifenilo	2	2	3
1,3 butadieno	4	108	380
butil acrilato	2	68	137
alcohol sec-butílico	2	54	108
alcohol ter-butílico	2	67	134
butiraldehído	3	72	212
cadmio	60	166	613,554
disulfuro de carbono	2	14	29
cloro	64	3,450	3,197,210
cloro benceno	2	113	226
cloro etano	2	46	-92
clorofón	2	81	162
cloropreno	2	54	108
romo	64	292	227,682
cobalto	56	119	93,723
cobre	63	1,625	1,887,139
creosote	2	59	118

Sustancia química	Número de Instalaciones	Emisiones medias lb/año/instalación	Emisiones totales lb/año/instalación
cresol (mezcla de isómeros)	2	60	. 121
cumeno	2	60	121
ciclo hexano	13	34	1,032
1,2 dibromometano	2	67	134
dibutil pftalato	2	6	13
1,2 diclorobenceno	2	64	127
1,4 diclorobenceno	2	115	229
diclorodifluorometano	2	56	111
1,2 dicloroetano	2	92	185
diclorometano	2	119	239
dicitetrafluorometano	2	2	3
dimetil ftalato	2	10	19
epiclorohidrina	2	67	134
2-etoxietanol	2	57	115
etil acrilato	2	80	159
etilbenceno	5	52	333
etileno	9	192	7,160
etilen glicol	2	59	118
óxido de etileno	2	60	121
formaldehido	154	256	36,290
ácido fórmico	2	67	134
Freón (CFCs)¹	2	64	127
éteres glicólicos	2	70	140
Clorodifluorometano HCFC-22	2	25	51
sulfuro de hidrógeno	1	3	3
isobutiraldehido	2	67	134
plomo	64	2,218	4,065,664
anhídrido maléico	2	11	22
manganeso	64	451	572,225
mercurio	36	14	8,365
metanol	2	223	446
2-metoxietanol	2	62	124
acrilato de metilo	2	60	121
etil metil cetona	2	194	388
metil isobutil cetona	2	89	178
metil metacrilato	2	73	146

Sustancia química	Número de Instalaciones	Emisiones medias lb/año/instalación	Emisiones totales lb/año/instalación
bromuro de metileno	2	5	10
cloro penta fluoruoetano (CFC-115)	2	3	6
naftaleno	7	48	1,716
n-butil alcohol	2	110	220
níquel	62	164	132,525
nitrobenzeno	2	53	105
fenol	3	35	154
fósforo (blanco o amarillo)	62	190	142,058
anhídrido ftálico	2	32	64
propanaldehido	3	57	191
óxido de propileno	2	80	159
propileno	9	201	3,067
selenio	56	78	54,673
plata	35	59	41,069
estireno	3	96	405
tetracloroetileno	2	111	223
tolueno	15	125	1,323
1,1,1-tricloroetano	2	68	137
1,1,2-tricloroetano	2	56	111
tricloroetileno	2	68	137
triclorofluorometano	2	97	194
1,2,4 trimetilbenzeno	2	2	3
acetato de vinilo	2	88	175
cloruro de vinilo	2	67	134
m-xileno	2	91	181
o-xileno	5	47	252
p-xileno	2	64	127
xileno (mezcla de isómeros)	2	111	223
zinc	64	1,694	2,781,488

Nota 1: Los Freones son una marca comercial de DuPont para varios CFCs, de los cuales los que están en el listado de sustancias RETC son el 9-clorotrifluorometano (CFC-13), cloropentafluoroetano (CFC-115), diclorodifluorometano (CFC-12), Diclorotetrafluoroetano (CFC-114)

En las emisiones líquidas, en las colas de minaría y residuos en el área puede haber también restos de los compuestos emitidos al aire ya que estos provienen de los reactivos utilizados, materiales presentes en los minerales extraídos, productos generados por reacciones químicas (cuando es el caso) e insumos utilizados por las máquinas y/o servicios auxiliares del proceso de extracción y beneficio.

Las máquinas utilizadas (motores principalmente) generan gases de combustión que dependen principalmente del combustible que utilizan, además también puede haber en el área, residuos de explosivos (que pueden incluir sales de amonio y NH₃), fluidos hidráulicos, de baterías, combustibles y lubricantes usados (que se reducen significativamente con buenas prácticas de operación y mantenimiento).

Cuando el procesamiento de la mena o mineral extraído requiere de operaciones de secado, (como con minerales de asbestos) se generan gases de combustión que depende del combustible utilizado y para el caso de los asbestos, estos incluyen partículas suspendidas provenientes del material secado. En las partículas emitidas generalmente hay minerales y compuestos de metales según el tipo de mina, si se usa agua para mitigar las emisiones de polvos (cortinas de agua por ejemplo), ésta llevará o arrastrará una buena parte de las partículas emitidas al suelo (o sistema de captación si lo hay).

La ganga que frecuentemente se deja a un lado del sitio de la explotación constituye otro residuo que frecuentemente es de un volumen considerable. De las operaciones de trituración y molienda se generan partículas suspendidas, sobre todo en operaciones en seco.

Las colas de proceso constituyen el residuo que mayor impacto ambiental tiene y que está íntimamente ligado al proceso de la mena, por tal motivo requiere de mayor atención.

Efectos del proceso de beneficio en las características de las colas

Las operaciones descritas anteriormente tienen una influencia directa sobre las características de las colas, por lo que es importante conocer el proceso en particular para empezar a entender las características de estos residuos y manejarlos lo mejor que se puede, el siguiente recuadro muestra, de forma general qué estepas del proceso de beneficio influyen en qué característica de las colas producidas.

Recuadro 5. Efectos de las diferentes etapas de proceso en las colas (BREF, 2009)

Etapa de proceso	Dist. del tamaño de partícula	Finos	Superficie específica	% sólidos	Reactivos químicos	pH	Influencia en el drenaje ácido	Propiedades de superficie	Forma de las partículas
Trituración y molienda	X	X(1)	X	X(2)			X	X	X
Tamizado	X	X(3)							
Clasificación	X	X		X			X		
Concentración por gravedad				X			X		
Flotación				X(4)	X(5)	X(6)	X	X	
Magnética					(7)		X		
Electrostática					X		X	X	
Separación (sorting)							X		
Lixiviado				X	X	X		X	
Espesado				X(8)	X(9)			X	
Filtrado				X	X	X(10)		X	

Notas.

1. Los molinos agitados generan más finos que los de bolas.
2. Los trituradores en seco, molinos rotatorios y agitados con base húmeda.
3. El tamizado excesivo genera finos.
4. La flotación es un proceso con base húmeda que maneja generalmente de 30 a 40% de sólidos en el caso de minerales de metales y de 5 a 15% para el caso de carbón, el agua se agrega con los reactivos en diferentes momentos del proceso.
5. Un resumen general de los reactivos empleados se incluye se incluye en “Insumos utilizados para la flotación”, estos compuestos o los generados a partir de su degradación se pueden encontrar en las colas. (aumentando la materia orgánica presente, la presencia de ciertos compuestos inorgánicos).
6. El efecto en el pH puede ser en ambas direcciones, es decir, lo puede hacer más ácido o más básico, depende mucho del tipo de mineral procesado y de los reactivos químicos usados.
7. Usualmente no se utilizan reactivos químicos, sin embargo, algunas veces se utilizan agentes de dispersión para promover la des aglomeración de finos. Generalmente adicionando materia orgánica (medida como DQO) a las colas
8. La operación de espesado permite en algunos casos, recuperar agua y reusarla en el proceso, en algunas veces puede ser necesario reacondicionarla, en procesos de flotación implica recuperar reactivos también, los sólidos generados son un residuo, en México reciben el nombre de jales y según sus características particulares pueden ser considerados o no como un residuo peligroso, la disposición de éstos generalmente es depositarlos en presas en forma de capas para permitir que el material se compacte y quede el agua sobrenadante para disminuir el impacto ambiental (por ejemplo, para evitar polvos, ayudar a degradar químicos, permitir la sedimentación etc.), en la construcción y operación de estas presas, se busca que sean lo menos agresivas posibles con el medio ambiente. El diseño, construcción, operación y regulación (legal) de estas estructuras son temas muy amplios para ser explicados con detalle aquí.
9. Se pueden utilizar floculantes, cuyos restos estarán en las colas (DQO).
10. Algunas veces se utilizan reactivos, como sulfato de aluminio o cal (floculantes) para ayudar a la operación, éstos influyen en el pH.

Efectos de las propiedades y características de las colas en el comportamiento que observan y la influencia el manejo de éstas como residuos

Puesto que las características de las colas determinan como es que están se comportan e influyen en las actividades para manejarlas (generalmente por disposición final en presas de jales), el siguiente recuadro relaciona algunas características importantes con el comportamiento o influencia en su manejo asociado, complementando la información del recuadro 5.

Recuadro 6. Relación entre el comportamiento de las colas y sus características (BREF, 2009)

Comportamiento o influencia de las colas	Características de las colas.								
	Dist. del tamaño de partícula	Finos	Superficie específica	% sólidos	Reactivos químicos	pH	Influencia en el drenaje ácido	Propiedades de superficie	Forma de las partículas
Permeabilidad	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Plasticidad	X	X	X	-	-	-	-	-	X
Fuerza de corte	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Compresibilidad	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Tendencia a la licuefacción	X	X	X	X	-	-	-	X	X
Propiedades químicas		X(1)	X(1)	-	X	X	X	X	X
Densidad	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Consolidación	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Generación de polvos	X	X	X						
Toxicidad	X(2)	-	X(2)	-	X(3)	X	X	X	-
Vertido (presa)	X	X	-	X	-	-	X	-	-
Deposición	X	X	-	X	-	-	X	-	-
Manejo de agua libre (presas)	X	X	-	X	X(3)	X	X	-	-
Seepage flujo	X	X	X	X	-	-	-	X	X
Seguridad a largo plazo	X	X	X	-	-	-	-	X	X
Manejo de drenaje ácido	X	X	X	-	-	X	X	X	-
Emisiones al aire	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Emisiones al agua	X	X	-	X	X(3)	X	X	X	-
Emisiones a la tierra	X	X	-	X	X(3)	-	X	-	-
Tratamiento de efluentes	X	X	X	X	X(3)	X	X	X	X
Influencia en el diseño de la presa de jales	X	X	X	X	X(3)	X	X	X	X
Monitoreo	-	X	-	-	X(3)	X	X	-	-
Cierre y cuidado posterior	X	X	X	X	X(3)	X	X	X	X

1. Debido al incremento o alteración de la disponibilidad de la concentración de compuestos y/o de superficie activa en el medio para reaccionar.
2. La toxicidad es un efecto de las propiedades químicas sobre la vida, la distribución de partículas y su superficie específica pueden generar compuestos que aumenten de la toxicidad del residuo, por si mismos o al hacer sinergia con otros presentes.
3. No necesariamente si el agua de las colas es removida antes de ser descargadas (a la presa generalmente).

Teniendo la conexión entre los procesos llevados a cabo para aprovechar los minerales y el comportamiento de las colas se puede relacionar que impacto tiene cada etapa, tanto en el beneficio económico como en la producción y características de estos residuos, además, con un balance de materia y energía se puede cuantificar este costo/beneficio, que es un inicio para buscar mejoras que lleven a procesos sustentables económico, social y ambientalmente.

Cierre, rehabilitación y cuidados posteriores de una instalación minera

Usualmente la mina en sí, la planta de proceso y las instalaciones de manejo de la ganga y las colas, están en operación durante décadas, pero la ganga que queda (si no es utilizada) y las colas (jales), quedan en el lugar durante mucho tiempo después del cierre de operaciones, por lo que se necesita de cuidados especiales para disminuir el impacto ambiental que representan (BREF, 2009), (AIMMPE, 1986).

En muchos casos, las colas y la ganga no contienen sustancias que representen un peligro para el ambiente, en este escenario, durante la fase de cierre el operador de la instalación se debe asegurar que se drena de la presa de jales sea segura, de aplanar la superficie de las presas para que maquinaria pueda operar sobre ellas y posteriormente deben de ser cubiertas con suelo y vegetación (BREF, 2009).

Al hacer la remediación se debe de tomar en cuenta que es posible que en el futuro, esa misma mina se vuelva a abrir, algunas veces la instalación se cierra con la idea de reabirla posteriormente, otras, ésta cobra nuevo valor al descubrirse nuevos minerales o al desarrollar una técnica que haga su explotación económicamente viable, por este motivo es deseable que los materiales depositados (colas) sean accesibles (BREF, 2009).

Este escenario ocurre por ejemplo, en las minas de potasa, en donde las colas contienen un gran porcentaje de sal (NaCl), que puede ser mayor al 90%, estas colas pueden convertirse en el futuro en una “mina” de sal, otro ejemplo, más a futuro consiste en pensar que algún día se desarrollará un proceso para obtener más beneficio de los jales (BREF, 2009).

Si las colas contienen sustancias de riesgo o estas se pueden generar con la interacción ambiental, se deben de tomar otras medidas enfocadas en la estabilización de las colas, reduciendo la necesidad de monitoreo futuro (K. Adam, 2002).

Por lo general, los aspectos más importantes a considerar en la clausura de minas, respecto a las colas y ganga generadas que tienen impacto a largo plazo son (K. Adam, 2002):

1. La estabilidad física de las construcciones,
2. La estabilidad química de las colas (y en ocasiones de la ganga),
3. El uso futuro del suelo.

Las presas de jales deben de ser estables sobre eventos extremos como terremotos, inundaciones y otras fuerzas destructivas, incluyendo la erosión del aire y el agua para que no representen un peligro a la salud pública y/o al medio ambiente (K. Adam, 2002).

Si las colas o la ganga contienen sulfuros, el potencial de generación del fenómeno de drenaje ácido es de importancia, incluso cuando la mina esta en operación,

generalmente cuando la mina cierra es que este fenómeno se convierte en un problema mayor. Durante la operación de manejo de colas, los vertidos son saturados y distribuidos, mientras que los huecos están cubiertos por un sobrenadante que reduce mucho o incluso impide la oxidación, mientras que después del cierre el nivel del agua baja permitiendo que el oxígeno del aire reaccione con los sulfuros, lo que hace que el fenómeno se intensifique y sea de mucho más impacto y más difícil de remediar (BREF, 2009).

La rehabilitación del sitio se encamina a convertir el área en algo que la comunidad local necesita o pueda hacer uso, esto tiene que ser compatible con la estabilidad a largo plazo del sitio (Zinkgruvan, 2003).

Los problemas sobre la reforestación en lugares con problemas de drenaje ácido, alto contenido de metales, de suelos con alto contenido de arenas, incapaces de retener nutrientes o agua son motivo de trabajos y estudios que son muy extensos para tratarse en este documento, la colección de documentos de referencia de las mejores técnicas disponibles de la unión europea contemplan estos temas en reportes como "Restoration and re-vegetation of colliery spoil tips and lagoons", "The reclamation and management of metalliferous mining sites" y "Landscaping an re-vegetation of china clay waste", mismos que pueden ser consultados (BREF, 2009).

Drenaje ácido (Acid Rock Drainage o ARD)

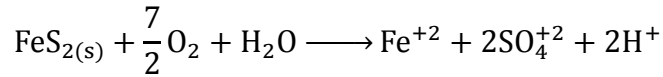
Este fenómeno representa un problema ambiental muy grave que ha sido estudiado ampliamente, sobre todo en los últimos 20 años, ya que los estándares ambientales se han hecho más estrictos a reflejar la mayor conciencia y preocupación por el medio ambiente, en este documento solo se da una idea y una descripción básica del mismo.

Si se quiere profundizar en el tema, se pueden consultar una gran cantidad de publicaciones científicas procedentes de una serie de programas de investigación internacionales y extranjeros que tienen especial interés en él, algunos de los países más activos al respecto son Canadá, Australia, USA, Suecia, Noruega y el Reino Unido, en México la UNAM y el IPN han realizado colaboraciones con algunas empresas mineras en donde se ha estudiado este fenómeno buscando también aportar soluciones prácticas desde distintos puntos de vista (Ojeda, 2008), (Pacheco, 2006) y (BREF, 2009).

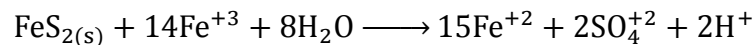
Oxidación de sulfuros (generación de ácidos)(González, 2009), (BREF, 2009)

Los sulfuros extraídos del lecho rocoso se formaron bajo condiciones fuertemente reductoras, llevando al azufre a su estado de oxidación más bajo (-2). Los sulfuros más comunes, dada la composición elemental de la corteza terrestre son la pirita ($\text{FeS}_{2(s)}$) y la pirrotita ($\text{FeS}_{(s)}$) aunque éstos coexisten con otros sulfuros que tienen un alto valor económico mayor como la calcopirita ($\text{FeCuS}_{2(s)}$), galena ($\text{PbS}_{(s)}$), esfalerita ($\text{ZnS}_{(s)}$) y con otros de muy poco valor económico como la arsenopirita ($\text{FeAsS}_{2(s)}$). En un lecho rocoso sin alteraciones, el contacto con el oxígeno es muy escaso o

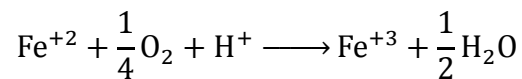
nulo, lo que evita la oxidación de estos compuestos. Sin embargo, cuando los sulfuros se exponen a una atmósfera oxidante y húmeda como la existente en la actividad minera, empiezan a oxidarse, para ejemplificar el fenómeno, que es muy complejo se elige mostrar lo ocurrido a la pirita ($\text{FeS}_{2(s)}$):



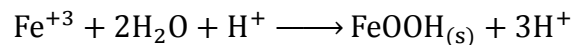
La oxidación del sulfuro, que tiene una cinética lenta y es exotérmica, puede ocurrir también con otros agentes oxidantes como el ion férrico (Fe^{+3}) como sigue:



Dentro de los estudios que se han hecho al respecto, los factores que influyen en la tasa de oxidación de los sulfuros son la disponibilidad de oxígeno es la más importante, para mantener una oxidación continua de sulfuros, el oxígeno debe de ser provisto de la atmosfera circundante, esta es la genuina oxidación presentada en la primera ecuación y en la segunda mediante un producto de una oxidación posterior, en donde el ion ferroso (Fe^{+2}) se oxida a férrico (Fe^{+3}) como se indica en la siguiente reacción:



El ión férrico contribuye a la oxidación de sulfuros pero a un $\text{pH} > 3.5$ se puede hidrolizar y precipitar como oxihidróxido de hierro, como se ve en la siguiente ecuación:



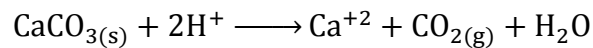
Aunque la reacción es reversible. También hay evidencia de que el ciclo del hierro entre los estados de oxidación ferroso “+2” y férrico “+3” se potencializa por procesos clave en condiciones anaeróbicas dadas en el manejo de colas, sin embargo, estudios de campo, indican que la oxidación general de los sulfuros se reduce significativamente al implementar barreras de difusión para el oxígeno. El modelado biogeoquímico calibrado con información de campo arroja resultados que no indican que la oxidación de la pirita por el ion férrico juegue un papel significativo en el depósito.

Como ya se ha dicho, muchos factores influyen en este fenómeno, como la actividad bacteriana, pH, concentración de oxígeno, temperatura, proceso galvánico entre diferentes sulfuros etc. todo esto ha sido investigado ampliamente, produciendo ecuaciones de tasa de reacción para la oxidación de la pirita bajo condiciones particulares, mismas que están disponibles en la literatura, sin embargo, bajo condiciones naturales, como las que imperan en una instalación de minería de sulfuros, estos factores son codependientes y son influidos por otros como la superficie disponible para la reacción que depende de la distribución de tamaño de partícula, mineralogía, hidrología y la existencia de materiales químicamente

amortiguadores (buffers) etc. este último aspecto se explica brevemente a continuación por su efecto en el fenómeno.

Disolución de materiales amortiguadores (buffers) y consumo de ácido (González, 2009), (BREF, 2009)

Si existen materiales de este tipo, como los carbonatos, en las colas, el ácido producido por la oxidación de los sulfuros (primera y segunda ecuación) y en la precipitación del oxihidróxido de hierro (cuarta ecuación) se consumirá como se ve en la siguiente ecuación:



La disolución de calcita es muy rápida compara con la oxidación de la pirita, por lo que se puede asumir que no es un factor limitante y mientras haya este compuesto disuelto se consumirá el ácido generado a la misma tasa que es generado. Si no hay suficientes compuestos buffer o no están disponibles en el medio o se terminan con el tiempo, el pH del drenaje podría acidificarse y por lo tanto la disolución de metales aumenta mucho, al grado de ser transportados hacia mantos de agua subterránea, suelos cercanos y causar mucho daño. Esto es lo que normalmente se le llama drenaje ácido.

Algunos de los elementos (y compuestos de ellos) que se pueden lixiviar hacia afuera de la presa son As, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, F, Al, Mn, As, V, Mo, K, Ni, Ca, Mg, Si, S, Sb, Se, Cd, Cr, Co, Hg en nitratos, nitritos, sulfatos, sulfitos, bicarbonatos, cianuros, elementos radioactivos entre otros, cuya existencia y concentración varía de sitio en sitio (USEPA, 1994).

El ácido también es consumido por la disolución de otros materiales que actúan como amortiguadores o buffers, como los aluminio-silicatos pero normalmente a presentan una tasa menor de reacción, tal que no pueden mantener el paso de la producción de ácido por oxidación de sulfuros en todos los casos. Ya que la disolución de estos materiales es controlada por la cinética, su efecto es demostrable al analizar la disolución de materiales como el feldespato, muscovita y biotita.

El conocimiento de estas interacciones químicas es la base para poder evitar hasta donde sea posible, el fenómeno de drenaje ácido y en su caso, poderlo “remediar” o limitar su impacto al medio ambiente, el problema real se atiende en cada caso y requiere de un gran conocimiento técnico al respecto, implica costos, a veces muy altos y de un esfuerzo constante, sin embargo, el costo de no atender estos problemas es mayor, sobre todo si se proyectan a largo plazo.

14. MINERIA DE PLOMO Y ZINC

La principal fuente de estos dos metales, son los sulfuros correspondientes, para el Pb, el principal mineral de donde se extrae es la galena (PbS) y para el caso del zinc,

es la esfalerita (ZnS), por lo general estos dos minerales se encuentran juntos en un mismo yacimiento y se extraen conjuntamente. Sin embargo, otros minerales, constituidos por sulfuros de otros metales valiosos también están presentes, en grados y formas diferentes, por lo que hoy en día existen procesos de beneficio que también se ocupan de generar concentrados de éstos, la determinación cuantos y cuales concentrados se producirán depende, en primera instancia de la factibilidad técnica para separarlos y de la viabilidad económica de la operación, algunos de los metales típicos, presentes en yacimientos de sulfuros, además de los de Pb y Zn son los siguientes (BREF, 2009), (AIMMPE, 1986):

El cobre (Cu), presente en minerales como la calcopirita ($CuFeS_2$), calcocita (Cu_2S), covelita (CuS) y bornita (Cu_5FeS_4), aunque la principal fuente de este metal es óxido la cuprita (Cu_2O) cuya extracción y concentración es económicamente más rentable en la mayoría de los casos que la de los sulfuros antes mencionados, por lo que, aunque esté presente con sulfuros de Pb y Zn no siempre se concentra. Otros minerales que también son fuente de cobre son la malaquita ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$), azurita ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) y la crisocola, que puede presentar varios estados de hidratación ($CuSiO_3 \cdot nH_2O$), estas fuentes de cobre tienen una explotación menor aunque en el futuro, los sulfuros, carbonatos, hidroxicarbonatos y silicatos podrían aumentar su importancia (BREF, 2009), (MineralGallery, 2002).

Los minerales de (Fe) como la pirita (FeS_2) es común, misma que se puede desechar en las colas o aprovechar, aunque la principal fuente de este metal son los minerales de sus óxidos como la hematita, magnetita y la siderita, (en orden de importancia) por lo que no siempre se concentra, igual que en el caso de sulfuros y otros minerales de cobre (carbonatos, silicatos etc.) puede que la obtención del hierro a partir de sus minerales de sulfuros se haga más importante (BREF, 2009).

Minerales de Ag frecuentemente están asociados en pequeñas cantidades a la galena y pequeñas cantidades de minerales de Au a sulfuros de cobre, que al flotarse se enmascaran con éste, separándose durante la fundición ya que la proporción Au/Cu es muy pequeña, si las cantidades son mayores pueden llegar a requerir de una línea de proceso adicional para extraerlos, cuya técnica en particular puede variar ya que ésta debe adaptarse a la secuencia de etapas utilizadas para obtener los otros productos (concentrados de sulfuros de Pb, Zn y otros de ser el caso), “insertándose” en la parte más conveniente del proceso (puede ser cualquiera y varía según el caso), algunas técnicas posibles son los conos de separación, conos Reichert, espirales, mesas vibradoras, separadores de medio pesado y separadores magnéticos de alta intensidad (BREF, 2009).

El tungsteno o volframio, generalmente presente en minerales como la scheelita o esquelita (WO_3), asociados a sulfuros de Pb y Zn, tiene un gran valor aunque su concentración es muy baja y si se recupera, generalmente se hace de las colas de flotación de Pb y Zn y/o de alguna corriente “intermedia” en la secuencia de flotación, el elaborar concentrados de este mineral requiere de una “planta” adicional que puede incluir el tamizado de la corriente, una secuencia de conos reichert para concentrar y limpiar, flotación de compuestos metálicos en donde se eliminan restos

de sulfuros y óxidos de otros metales (que en algunos casos se pueden recircular a etapas de flotación de Pb, Zn o algún otro), separación magnética para eliminar impurezas de hierro (como la pirrolita), una limpia en mesas, flotación de otros compuestos presentes (como la arsenopirita), tamizado y limpia en mesas final (AIMMPE, 1986).

PROCESO DE FLOTACIÓN PARA GENERAR CONCENTRADOS DE MINERALES DE Pb Y Zn

Para ejemplificar estos procesos de beneficio con un poco más de detalle, se muestra a continuación una breve descripción de un proceso "típico" de procesamiento para obtener concentrados de minerales de Pb y Zn, que describe propiamente a este subsector.

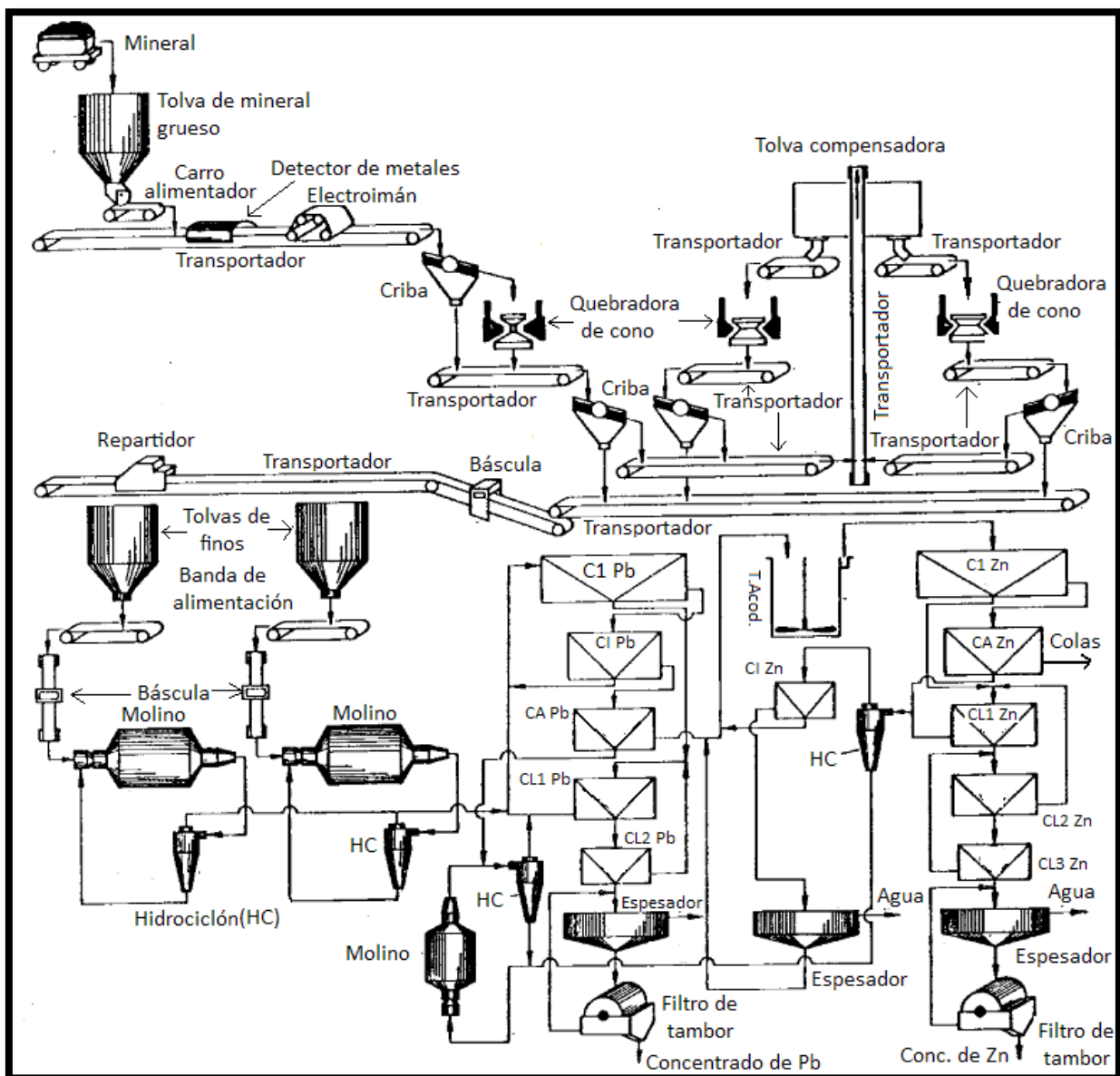


Figura 7. Proceso de beneficio de una mina de sulfuros de Pb y Zn, incluye una

sección de tribulación, molienda, flotación con remolienda, espesado y filtrado, el manejo de la ganga y las colas (jales) no se muestra en este diagrama, modificado de (AIMMPE, 1986)

Trituración

El mineral extraído de la mina, se quiebra en sitio a menos de 18cm de diámetro y se envía a una tolva de mineral grueso, ésta surte a un carro alimentador de banda de velocidad variable que proporciona el material en una banda transportadora que lo lleva hacia la criba de separación de 3.82cm (1.5in) (AIMMPE, 1986).

Los gruesos (mayores a 1.5in) se envían a una quebradora de cono, la descarga de ésta se transportan, junto con los de la criba anterior, a través de una banda hacia otra criba vibratoria con un tamaño de paso de 0.9525cm (3/8in), los finos son enviados hacia las tolvas de almacenamiento de estos materiales, los gruesos se llevan y distribuyen a dos quebradoras de cono por un sistema de bandas que tienen un tamaño de paso de 0.9525cm (3/8in), la descarga de estos equipos se lleva a través de bandas transportadoras, a un par de cribas con un tamaño de paso de 1.27cm (1/2in), los finos se unen con el material de menos de 3/8in de la segunda criba, los gruesos son recirculados hacia las quebradoras de cono referidas anteriormente. La banda transportadora de material hacia las tolvas de finos tiene integrada una báscula y un carro repartidor distribuye la carga entre ambas tolvas (AIMMPE, 1986).

Molienda

El material presente en las tolvas de finos se envían hacia los molinos a través de bandas transportadoras y una báscula integrada que mide el peso del material molido para control de proceso, los molinos utilizados generalmente son de bolas de acero de 3in, éstos equipos están conectados a un circuito cerrado con hidrociclones (dos por molino, trabajando alternadamente) y sus respectivas bombas, la corriente de gruesos se recirculan a la molienda mientras que los finos se envían a la cabeza de flotación. La granulometría de la corriente de finos es 15% mayor a malla 65, 55% menor de malla 200 y 30% mayor a malla 200 (AIMMPE, 1986).

Esta sección cuenta también con un 3er molino de bolas de 1-1/4in para remoler la corriente de la zona de agotamiento de la sección de flotación de Pb-Zn, éste equipo también opera con un hidrociclón, la descarga de finos de éste se juntan con los de los dos primeros molinos de bolas para ir hacia la cabeza de flotación mientras que la descarga de gruesos se recircula al 3er molino de bolas (AIMMPE, 1986).

Flotación

La flotación selectiva del mineral de plomo se lleva a cabo en un circuito que incluye en 4 celdas primarias, otra intermedia, una agotativa, una 1ra limpiadora y 4 segundas limpiadoras (AIMMPE, 1986).

La flotación del mineral de zinc empieza con un tanque de acondicionamiento, 4 celdas primarias, 3 agotativas, una de 1ra limpia, otra de segunda limpia y 4 adicionales de 3ra limpia (AIMMPE, 1986).

Una parte de la corriente de flotación de las celdas agotativas de Zn se envía a un hidrociclón, la descarga de finos de éste alimenta a una celda de flotación intermedia, la corriente de flotación (la superior) se recircula al tanque de acondicionamiento, mientras que la de fondo, alimenta a otro espesador para recuperar agua, los sólidos, ya con menos líquido, también se recirculan al tanque acondicionador que inicia el circuito de flotación de Zn. La descarga de gruesos del hidrociclón se envía al 3er molino, como ya se vio previamente (AIMMPE, 1986).

Espesamiento y filtrado

El concentrado de plomo proveniente de la última celda de limpieza, se bombea a un tanque espesador, la torta de sólidos se lleva a un filtro de tambor que descarga un producto con una humedad menor al 7%, éste se lleva por medio de una banda hacia la zona de almacenamiento, se realiza un procedimiento similar con el concentrado de mineral de zinc. El agua sobrenadante de los espesadores se recupera para reutilizarse (AIMMPE, 1986).

Insumos

Los reactivos químicos se adicionan de manera automática operada desde un cuarto de control en diferentes puntos del proceso, los principales reactivos utilizados son los siguientes, cal hidratada, sulfato de zinc, sulfato de cobre, cianuro de sodio, xantatos y ceniza alcalina, la cantidad adicionada varía de una instalación a otra pero generalmente se adicionan desde unos cuantos gramos hasta unos cuantos cientos de gramos por tonelada de mineral beneficiado (BREF, 2009), (AIMMPE, 1986).

IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE FLOTACIÓN PARA GENERAR CONCENTRADOS DE MINERALES DE Pb Y Zn

De forma general, el impacto ambiental es como el descrito previamente en la sección de este documento titulada “impacto ambiental de la minería (General)”. De manera más particular, se tiene la siguiente información.

Nota la información que se presenta a continuación incluye minas conocidas como de “metales base” que incluyen la generación de concentrados de Pb, Zn, Cu, Cd, Sn en forma de sulfuros, algunos de óxidos también poseen óxidos y en algunos casos también se encuentran en pequeñas cantidades en yacimientos de sulfuros. Todos ellos, empleando alguna variación del método de flotación fisicoquímica como el mostrado anteriormente para minerales de Pb y Zn.

Consumo de energía

Varía según el proceso y tipo de mineral procesado, algunos valores informativos de

energía eléctrica, para minas de este tipo, en kWh/ton de mena procesada, son: mina 21 a 22, molienda, 11 a 22, manejo de colas de 1 a 3, espesado y filtrado de 0.22 a 3.9. Como consumo total (todas las energías) de 30 a 148 kWh/ton de mena procesada (BREF, 2009).

Consumo de agua

Varía mucho de una instalación a otra, los valores reportados por varias minas de este tipo (aunque incluyen más metales que solo Pb y Zn) tienen un consumo de 0.8 a 6.2m³/ton de mena procesada (BREF, 2009).

Hay instalaciones mineras que logran el 100% de su abasto de agua a partir del reciclado de aguas de colas, agua de la presa de jales (de la “piscina” de recuperación de agua), del agua de mina y de lluvia, mientras que otras recuperan y reutilizan muy poca agua de su proceso (BREF, 2009).

La recirculación de agua ayuda a ahorrar este recurso, cuya demanda en ocasiones es pesada para el área en donde está la instalación minera y puede afectar a las comunidades cercanas. La recuperación de reactivos también, siendo incluso, poco importante ya que muchos de ellos se degradan (Pacheco, 2006).

Algunas instalaciones no reciclan el agua del sobrenadante de las presas de jales porque utilizan yeso (CaSO₄) en su proceso (por varias razones) y éste tapa las tuberías, solo limitándose al reciclaje del agua de los procesos de espesado en la flotación, este volumen puede llegar a ser el 10% del total requerido en la planta.

Emisiones al aire

Las emisiones conducidas de partículas suspendidas varían de una instalación a otra, en el interior de la planta de beneficio, por lo regular se tienen mediciones por equipo que las genera, como molinos y por lo regular se sujetan a la normatividad aplicable a cada caso (BREF, 2009).

Respecto a las emisiones difusas, estudios sobre la depositación de estas partículas en el sitio de explotación en la Unión Europea varían desde 450mg/m² hasta 395,000mg/m² de “boca” del colector (en números redondeados). El contenido de metales contenidos en ella varían dependiendo el tipo de minerales explotados (BREF, 2009).

El polvo generado por el viento en el área de manejo de colas (presa, relleno de mina, reciclaje etc.) puede llegar a ser un problema si el clima es seco y hay corrientes de aire abundantes y relativamente fuertes, algunas instalaciones instalan una cortina de agua en la zona para mitigar este problema. Solo como dato informativo, las mediciones de partículas en aire ambiental, en un radio de 60 a 2,250m de la fuente, en instalaciones de la Unión Europea van desde 12.7 hasta 36.3µg/m³ (BREF, 2009).

Emisiones al agua

Las descargas de agua, como es de esperarse, contienen una gran cantidad de metales y otros elementos (y sus compuestos) como el Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Zn, Ca, grasas (DQO), partículas suspendidas, sulfatos, cianuros, fosfatos, y otros compuestos. Las plantas de tratamiento de agua deben estar equipadas para lidiar con estos contaminantes y ajustar pH (BREF, 2009).

Contaminación del suelo

Básicamente tiene que ver con el fenómeno de drenaje ácido antes explicado y con la propagación de polvos en algunos casos, las empresas mineras por lo regular tienen un programa de muestreo en sus instalaciones y sus proximidades, el aumento, hasta cierto grado, de los niveles de metales en puntos cercanos a la mina es esperado, sin embargo, se debe de mantener en control para evitar un impacto ambiental excesivo y sobre todo, uno que afecte la salud pública y la economía (BREF, 2009).

11. MINERÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO

El hierro es un elemento químico que es sumamente útil en la civilización humana, se utiliza para elaborar una amplia gama de materiales que han permitido al ser humano, construir inmuebles, máquinas y otras estructuras de gran importancia.

Las menas de hierro comerciales actuales, son obtenidas de formaciones sedimentarias del proterozoico, siendo la hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4) y la siderita los minerales de óxidos más importantes. Los principales productores de éstos son Rusia, Brasil, China, Australia y los Estados Unidos de América. Otros depósitos incluyen carbonatos, fosfatos, silicatos, sulfuros entre otros.

La actividad minera tradicional para los óxidos de hierro es como la descrita previamente en la sección (de este documento) de “minería”. Los tipos de minas que producen mena de hierro son subterráneas y a cielo abierto.

Procesado de la mena

Típicamente después de la extracción, la mena es triturada en equipos cercanos a la misma mina, luego se lleva a molinos en donde se reduce aun más el tamaño de partícula de ésta hasta el tamaño requerido. Durante el proceso, la mena pasa por una serie de tamices que permiten ir seleccionando el tamaño de grano adecuado y regresar a la molienda los que no lo tiene (BREF, 2009).

Las etapas posteriores dependen del tipo de mena en particular, composición química, recursos tecnológicos y económicos disponibles entre otros. Los métodos más comunes para este tipo de menas son la separación magnética, por gravedad y/o por flotación. El tipo de mena y el método de tratamiento influyen mucho en la cantidad, tipo y composición de las colas (BREF, 2009).

El proceso de flotación para óxidos de hierro es muy similar al que ya se explicó para Pb y Zn, siendo incluso más simple si solo se requiere recuperar mena de hierro y no de más metales. Como ejemplo se describe brevemente un proceso de concentración por medio de separadores magnéticos en seco, en húmedo, con apoyo de dos celdas de flotación, usado en la mina de Kiruna (BREF, 2009).

La mena, previamente triturada en campo, se vierte a un **tambor de separación magnética en seco**, que hace el primer corte de mineral rico en hierro (más del 50% en peso), este material se envía a un **molino autónomo**, los guijarros, se envían a un tamiz mientras que el resto del material a un separador de tornillo. Del **tamiz**, los finos se regresan a la corriente de alimentación en la corriente de agua de proceso, mientras que los gruesos (guijarros) van a un segundo molino (BREF, 2009).

El **clasificador de tornillo** genera dos corrientes, los gruesos se envían a la alimentación del molino autónomo y los finos hacia el **primer separador magnético húmedo**, ahí se vuelve a separar la porción de mineral más rica en hierro del resto, enviando la primera al segundo molino que se une a los gruesos del tamiz anterior y la segunda hacia el espesador de colas (BREF, 2009).

El **segundo molino** devuelve los gruesos a la alimentación del primer molino y los finos se envían a un **hidrociclón**, éste divide la corriente otra vez, entregando los finos al **segundo separador magnético húmedo** y los gruesos los devuelve al segundo molino (BREF, 2009).

La mena rica en hierro se pasa desde el segundo separador magnético húmedo a una celda **primaria de flotación** mientras que el resto del material se envía al **espesador de colas**, la **cabeza** de la celda primaria se envía a un **tercer separador magnético húmedo** y la cola a la celda de agotamiento, la cabeza de esta última se recircula a la celda primaria y el resto del material se envía a un **cuarto separador magnético húmedo** que manda guijarros de mena de hierro al segundo molino y el resto del material se va a las colas de proceso (BREF, 2009).

El tercer separador magnético húmedo envía la mena rica en hierro a un **tambor de mezclado** y bombeo y el resto del material al espesador de colas. Del tambor de mezclado, se envía la mena en base húmeda hacia la planta de peletización de la siderúrgica. La mena enviada contiene alrededor del 68% de concentración de hierro (base seca) (BREF, 2009).

El consumo de agua en la planta de beneficio es de alrededor de 2.6m³ por tonelada de mena procesada, la cual puede provenir orígenes pluviales, agua de mina, agua recuperada del proceso o del área inundada de la presa de colas. Se utilizan ácidos grasos como colectores, silicato de sodio como depresor de flotación e hidróxido de sodio como acondicionador.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO

Las emisiones al aire son principalmente partículas sólidas generadas durante las operaciones de extracción y trituración.

Las emisiones de agua son relativamente pequeñas si no se toma en cuenta el agua que acompaña a las colas desechadas.

Las colas del proceso constituyen el principal problema ambiental de la operación, por su volumen y características, éstas contienen silicatos, óxidos, fosfatos, álcalis, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, S, Sc, Sn, Sr, V, Y, Zn, Zr (BREF, 2009).

La descripción general del impacto ambiental de la minería sirve también para enriquecer la información dada aquí.

14. MINERÍA DE CARBÓN

Las minas de carbón, son tanto de minería subterránea (varios tipos) como a cielo abierto, las primeras operaciones de extracción son como las que se describieron previamente, luego el proceso generalmente es sencillo, después del triturado (a un lado de la mina) se envía el material a un **molino** que reduce su tamaño aun más, la descarga de éste llega a un **tamiz** que envía los gruesos (mayores a 120mm) a una **banda de clasificación** que los entrega a **tambores** y los finos a un **homogeneizador**. El primer tambor dosifica su carga al homogeneizador, mientras que el segundo sirve de depósito temporal a material de desecho que va a las colas (BREF, 2009).

Del homogeneizador el material pasa a un **segundo tamiz**, que envía los finos (<10mm) a un clasificador de aire y los gruesos (entre 10 y 120mm) a un concentrador y separador por gravedad (tipo "JIG") que trabaja con agua como fluido viscoso, que para fines explicativos será llamado el primer JIG.

Uno de los efluentes del **primer JIG** se envía a un **tamiz** que separa el agua de éste del **carbón de grano grueso** para entregarlo como producto, otra, con carbón más fino se envía al segundo JIG (de finos) y una tercera corriente con material de desecho se envía a las colas (se junta con la corriente de desecho del segundo JIG) (BREF, 2009).

El **clasificador de aire** colecta los polvos más finos (menores a 0.5mm) y envía el resto del material (entre 10 y 0.5mm) al **segundo JIG** (de finos), uno de los efluentes de éste lleva los **finos** hacia un **tamiz** que sirve para eliminar el exceso de agua, luego un **filtro** hace el resto para finalmente colectar este producto (carbón en grano fino), otra, con los granos medianos se envía a una centrifuga para retirarles el exceso de agua y entregarlos como producto (**carbón de grano medio**), un tercer efluente lleva el material de desecho hacia las colas (BREF, 2009).

Toda el agua proveniente de los tamices, filtros y centrifugas se colecta y se envía a un **primer espesador**, el sobrenadante pasa a una **celda primaria de flotación**, la **cola** se envía a un **segundo espesador** y los sólidos a un **filtro de cámara** que elimina el exceso de agua, los sólidos son colas de proceso y el agua se recircula hacia el primer espesador. La cabeza de la celda de flotación primaria se envía a un **filtro de vacío** que elimina el exceso de agua para entregar el **producto principal** (concentrado de carbón), el agua recuperada en el filtro de vacío se recircula al primer espesador (BREF, 2009).

En el caso de la producción de metales ferrosos (acero, hierro), el concentrado principal de carbón, se envía a la coquizadora y el carbón fino, mediano y grueso se puede aprovechar en la planta de sinterizado o en el alto horno.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA DE CARBÓN

Adicionalmente a la explicación general dada en la sección de “minería” este documento, hay que considerar que las colas de este proceso pueden contener una concentración mayor de materiales radioactivos y causan problemas de drenaje ácido (ya explicado) de forma similar a las menas de sulfuros dado el contenido de pirita que se tiene en la mezcla de minerales (BREF, 2009).

METALURGIA FÉRREA

El hierro y el acero han tenido un papel muy importante en el desarrollo de la civilización humana sobre varios milenios, teniendo aplicaciones en la construcción, agricultura, en la guerra, en la generación y distribución de energía (eléctrica), en la fabricación de equipo y maquinaria, en la vida doméstica y del hogar, en medicina, entre muchas otras.

Los materiales de hierro y acero fueron claves para la revolución industrial, junto con el carbón y las fibras (como el algodón), los desarrollos tecnológicos de comienzos del siglo XVIII y posteriores permitieron un crecimiento de su producción de manera importante, haciéndose de manera exponencial para segunda mitad del siglo XX (BREF, 2001a).

La globalización de la economía mundial ha tenido un profundo efecto sobre la industria de metales ferrosos (y la seguirá teniendo). Debido o a causa de la situación del mercado, esta industria está sufriendo cambios estructurales importantes, lo que ha llevado al desarrollo de nuevos conceptos en la producción de acero (p.e. nuevas técnicas de colada, de fundición directa, de reducción de fundición, de hornos de arco eléctrico etc.). La alta competitividad del mercado impulsa la consolidación de la industria del hierro y acero, favoreciendo las alianzas, operaciones en colaboración y compras de unas por otras, dándoles una ventaja a las instalaciones integradas, es decir, aquellas que tienen en sí mismas, los diferentes procesos, que intervienen en la producción de acero, trabajando de forma coordinada, reduciendo costos y aumentando la productividad.

La industria del hierro y el acero es intensiva en el consumo de materias primas y de energía y lo es todavía más si se toman en cuenta las actividades mineras propias de los materiales utilizados (como la mena de hierro, carbón (o coque), piedra caliza, cal, aleantes entre otros). Por lo que fácilmente se entiende por qué el impacto ambiental de esta industria es elevado y objeto de importantes acciones para disminuirlo, sobre todo en la generación de emisiones a la atmósfera y la generación de residuos sólidos (BREF, 2001a).

Dentro de la metalurgia férrea existen dos tipos de empresas, dada su importancia económica, ambiental y estratégica, estas son las siderúrgicas, concretamente las integradas, y las fundidoras. La principal diferencia entre una siderúrgica y una fundidora es el proceso en sí mismo, ya que tanto una como la otra pueden utilizar chatarra y minerales como fuente de hierro.

Por lo general, la siderúrgica obtiene la mayor parte del hierro metálico a partir de los minerales que lo contienen, que usualmente son óxidos que necesitan reducirse, aunque el uso de chatarra, propia o de terceros, sea común, al menos en un cierto porcentaje. Mientras que en las fundidoras, la mayor parte de la carga consta de chatarra y otras fuentes de metal metálico (como lingotes de Fe y de aleantes entre otros). Algunas fundidoras utilizan minerales y chatarra, otras solamente fuentes de hierro metálico como chatarra o lingotes entre otros.

Las siderúrgicas integradas son más complejas que las fundidoras, incluso hay empresas siderúrgicas que tienen acoplado el sistema de colada continua a una casa o tren de moldeo parecido al existente en fundidoras para hacer una gama de productos más amplia y algunas otras, tienen plantas completas de fundición “tradicional” integradas también, lo que les permite procesar un volumen mayor de chatarra y/o hierro metálico de otras fuentes (como lingotes de metal).

Otra diferencia es que las siderúrgicas por lo general se enfocan en producir productos como placas, láminas, placas chapadas, tubos, varillas, alambres, perfiles para construcción etc. hechos con diferentes grados de acero, mientras que las fundidoras producen piezas moldeadas más diversas y manejan también aleaciones de hierro que no son aceros. Nota: Las siderúrgicas también pueden, en teoría, producir aleaciones de hierro que no entran en el grupo de los aceros.

Los tratamientos de mejora (térmicos, termoquímicos, químicos superficiales, electroquímicos etc.) de propiedades por lo general se hacen en ambas instalaciones y/o por terceros especializados (el cliente por ejemplo), las operaciones de corte, soldadura se llevan a cabo en ambas.

Por su importancia, esta sección del presente documento, describe los procesos llevados a cabo por siderúrgicas integradas (sin contar la parte de minería, previamente explicada) y posteriormente por fundidoras, el aspecto de los tratamientos de mejora de propiedades (térmicos, termoquímicos etc.), corte, soldadura de metales, se mencionan a lo largo de la descripción de procesos de estas dos instalaciones y posteriormente, con más detalle en una subsección propia.

MANEJO DE MATERIALES EN UNA SIDERÚRGICA INTEGRADA

Es, en varios casos, la primera etapa que una instalación siderúrgica tiene, la segunda (o tercera, según se vea) si también se tiene integrado el proceso de extracción y concentración de minerales utilizados.

El **manejo de materias primas** en la industria del hierro y acero es una parte importante del proceso productivo por el volumen manejado. Estos materiales son usualmente transportados al sitio a granel por tren, camiones de carga y/o barcos, tanto los productos intermedios, como el coque y el sinterizado, como las materias primas se tienen que almacenar en silos o en patios y luego ser transportados hacia las unidades de proceso que los requieren, usualmente mediante bandas transportadoras (BREF, 2001a).

En el siguiente diagrama se muestra un ejemplo de la logística llevada a cabo en una instalación siderúrgica integrada, la extracción, concentración de minerales y fabricación de pellets no está incluida.

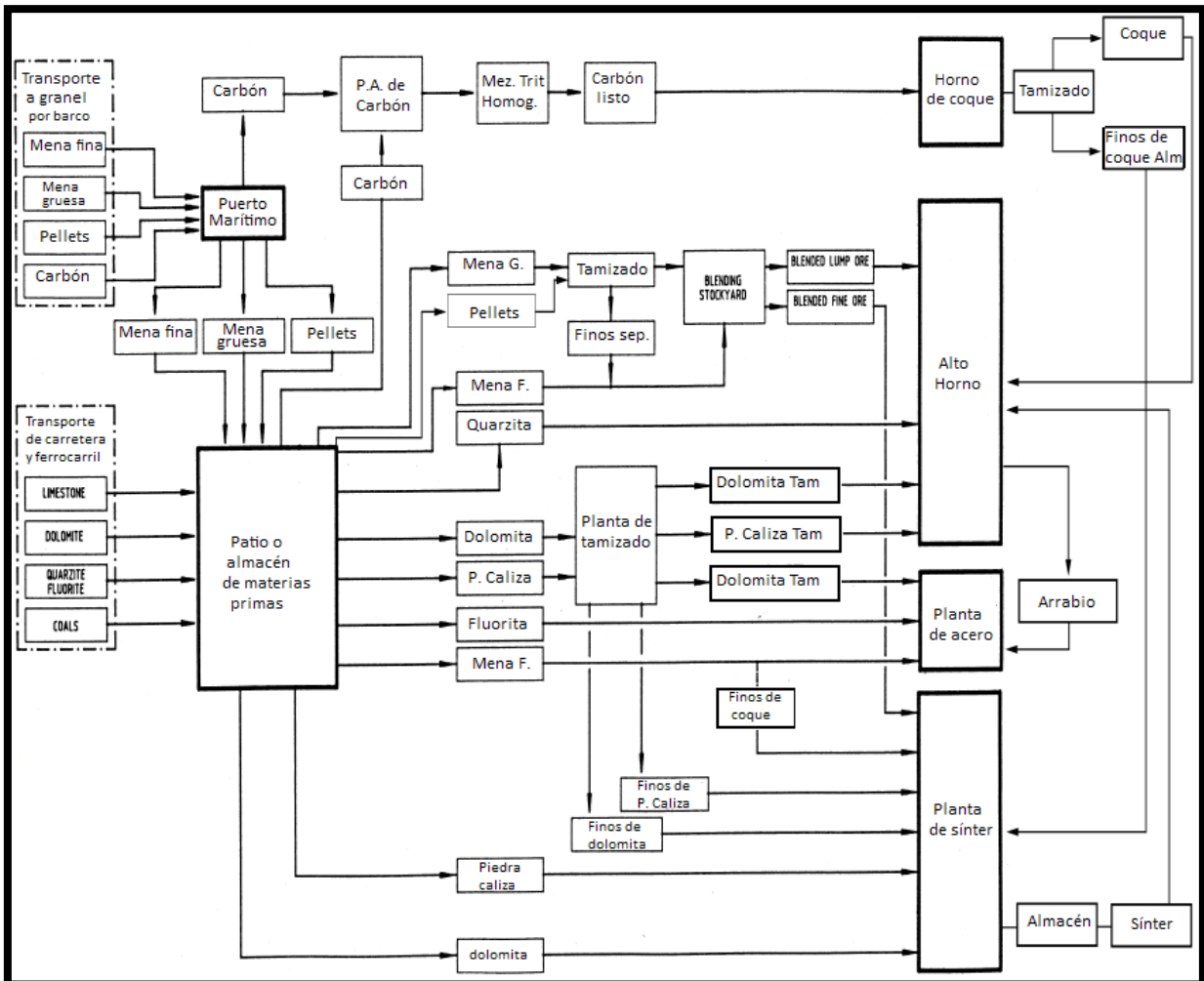


Figura 8. Logística de materiales en una instalación siderúrgica, modificada de (BREF, 2001a)

IMPACTO AMBIENTAL DEL MANEJO DE MATERIALES EN UNA SIDERÚRGICA INTEGRADA

Además de los gases de combustión, que dependen del combustible utilizado, el polvo acarrado por el viento desde los patios, bandas transportadoras y puntos de transferencia puede llegar a ser una fuente importante de emisión de partículas suspendidas. Cuando los materiales incluyen compuestos que pueden ser lixiviados, como hidrocarburos y éstos son almacenados en patios no pavimentados, es necesario considerar las escorrentías de agua como emisiones de contaminantes al suelo y a cuerpos de agua (si los hay).

RUTAS GENERALES PARA ELABORAR ACERO EN GRANDES CANTIDADES

Para elaborar acero, existen 4 “rutas” utilizadas que son: la del alto horno y el horno básico de oxígeno (Basic Oxygen Furnace o BOF), la fundición directa de chatarra (en horno de arco eléctrico), reducción en fundición (SRI) y reducción directa (DRI).

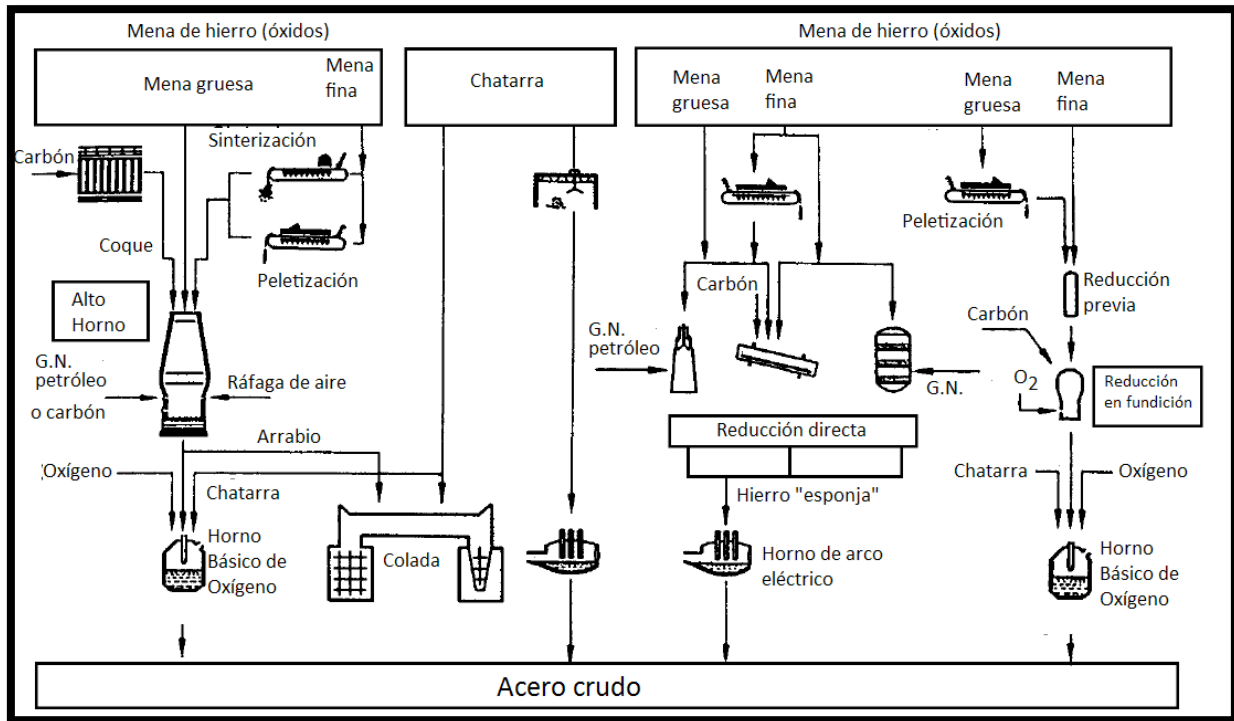


Figura 9. Esquema de las 4 formas comerciales de hacer acero, la del alto horno y el BOF, fundición directa de chatarra en arco eléctrico, reducción en fundición y reducción directa, modificado de (BREF, 2001a)

Nota: La “reducción” es de tipo químico, refiriéndose al proceso mediante el cual, un átomo disminuye su número de oxidación, ganando electrones.

Actualmente la más común es la del alto horno, en los Estados Unidos de América,

representa el 65% de la producción de acero y el 35% restante por arco eléctrico (EAF por sus siglas en inglés), en el mundo, el porcentaje de la producción de acero crudo por fundición directa de chatarra fue de 2.5% y por reducción directa (DRI por sus siglas en inglés) fue del 1.5% aproximadamente, aportado por instalaciones en Alemania y Suecia. Dado el aumento en el costo de la energía, el interés por alternativas tecnológicas como los procesos de DRI o SRI.

PROCESOS EN SIDERÚRGICAS INTEGRADAS

La “ruta” clásica para hacer acero, descrita como la del “Alto horno y el BOF (horno básico de oxígeno), además de ser la más utilizada actualmente, es claramente la más compleja, realizada en complejos industriales que se conocen como “Siderúrgicas Integradas”, que se caracterizan por “redes” de flujos interdependientes de materia y energía entre las diferentes unidades de producción como plantas de peletización, sinterizado, coque, altos hornos, hornos básicos de oxígeno (también llamados “convertidores de oxígeno”), hornos de cuchara para la adición de aleantes, dispositivos de colada continua para hacer planchones, tochos etc. laminado en caliente, laminado en frío, recubrimientos y/o tratamientos superficiales (cromado, estañado etc.).

Algunas compañías siderúrgicas, también incluyen también instalaciones de moldeo de piezas que implica tener también una arenería, fabricación de moldes y corazones, desmolde, tratamientos térmicos, eliminación de sobrantes, limpieza mecánica, química y en algunos casos, tratamientos químicos superficiales.

Antes de describir los procesos individuales con mayor detalle, a continuación se da una vista general al proceso.

Proceso general

Para ejemplificar de manera más clara y ágil, se muestra la siguiente serie de figuras, que ilustran sobre los procesos llevados a cabo en una siderúrgica integrada “típica”, empezando con las plantas de coque, peletizadoras y de sinterizado hasta los productos del laminado en caliente, en frío y con tratamientos superficiales (cromado y estañado).

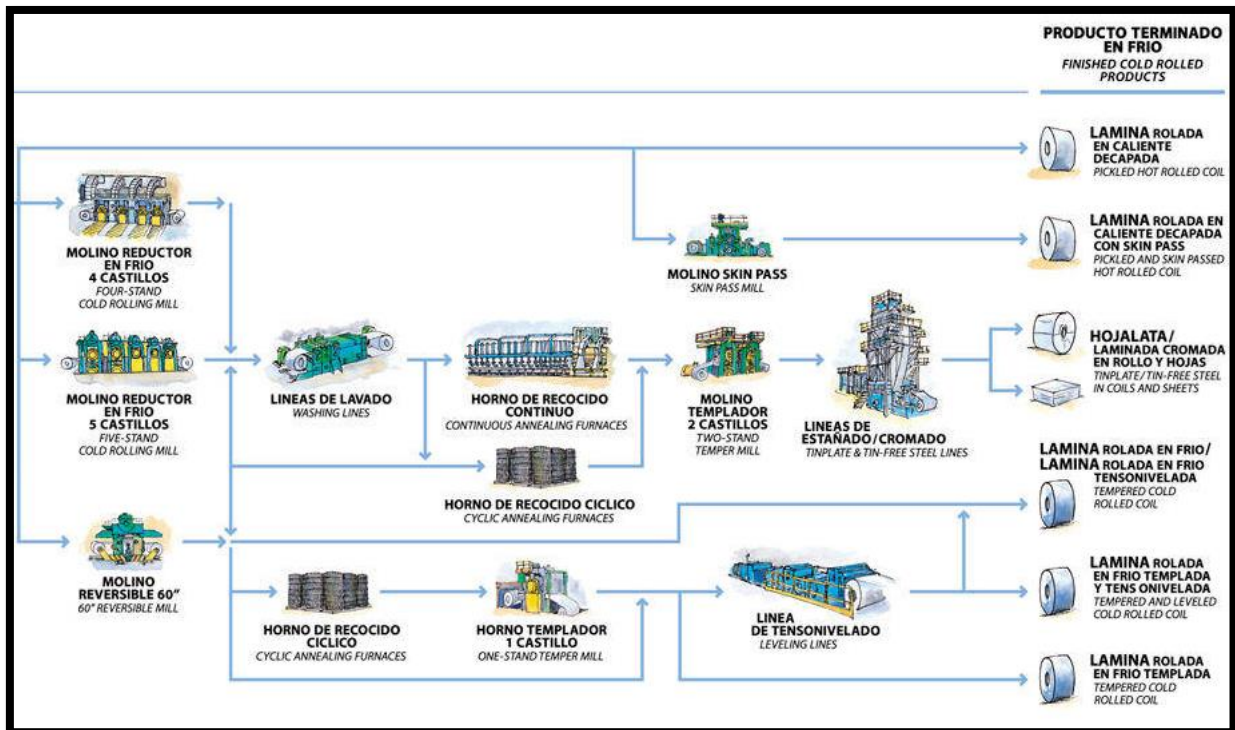


Figura 12. Procesos propios de una instalación industrial siderúrgica integrada, tomado de (AHMSA, 2010)

En una siderúrgica integrada, el alto horno es la unidad operacional principal en donde ocurre la reducción de los óxidos de hierro y la fusión del hierro para formar el arrabio (metal de primera fusión de hierro).

En los altos hornos modernos de alto desempeño, se requiere que la carga sea preparada adecuadamente, trabajo que realizan las plantas de sinterización y de peletización. Los pellets casi siempre se hacen de una mena de hierro bien definida (hematita, siderita, ferrita) o concentrado, en ocasiones en las instalaciones de la mina y en otras, en las de la siderúrgica, misma que, cuando es posible, se localiza cerca de la mina. El sinterizado generalmente se hace en la siderúrgica, mezclando mena fina, residuos de los hornos y aditivos específicos (BREF, 2001a).

Los agentes reductores principales en el alto horno son el coque y carbón en polvo que dan origen al monóxido de carbono (CO) e hidrogeno (H₂) que son los que reducen los óxidos de hierro, el coque y el carbón también sirven de combustibles para el proceso. El coque se produce en plantas coquizadoras mediante destilación destructiva del carbón (varios tipos) y se usa porque tiene mejores propiedades físicas y químicas que el carbón. Cuando es necesario, se utilizan otros combustibles/agentes reductores como el petróleo (aceite mineral, combustóleo), combustóleos gas natural y en algunos pocos casos, plásticos. La “ráfaga” caliente de aire provee del oxígeno necesario para formar el CO, que es el agente reductor básico para los óxidos de hierro (BREF, 2001a), (AHMSA, 2012).

El alto horno se alimenta por la parte superior, a través del tragante, mediante cargas sucesivas de coque y mezclas de sinterizado, pellets, mena de hierro gruesa y fundentes (como la piedra caliza, cal, fluorita entre otros), en el horno la mena de hierro es reducida a medida que se adentra en él hasta que se convierte en hierro metálico líquido ($Fe^0_{(L)}$), que sale por la parte inferior junto con la escoria, hacia un crisol de grafito (AHMSA, 2012).

La escoria del alto horno es retirada, enfriada, granulada y peletizada, algunas compañías la venden a cementeras para que sea coprocesada en el kiln, otro uso es como material para la construcción de caminos, calles, carreteras etc., si no es posible tampoco, se llevan a confinamiento en pozos de relleno (slag pits) (BREF, 2001a), (AHMSA, 2012).

El hierro que sale del alto horno, es conocido como arrabio (pig iron), se traslada a través de piqueras y canales a carros termo, para eliminar el azufre, se aplican reactivos como carburo de calcio, usualmente en una unidad o planta desulfuradora. Posteriormente, se lleva el arrabio desulfurado al BOF (horno básico de oxígeno) y se carga después de la chatarra (en proporción arrabio/chatarra hasta 80/20 por lo general) en donde se reduce el % de carbono presente (igual o mayor al 4%) a menos del 1% generalmente mediante la inyección de oxígeno, además, también se utilizan nitrógeno y argón para la refinación (purificación) del acero crudo, éste pasa luego a un horno de cuchara en donde se afina el material, añadiendo aleantes, que son otros metales que le confieren las propiedades necesarias, de ser necesario, de ser necesario, se pasa a una estación de metalurgia secundaria para afinarlo y asegurar que cumpla con las especificaciones, estos se hacen en el horno de cuchara y/o hornos secundarios de afinamiento y puede incluir: tratamiento de vacío, calentamiento, inyección de sustancias, mezclado y homogenización, adición de aleantes especiales, agitación magnética en colada continua entre otros (BREF, 2001a), (AHMSA, 2012).

Para hacer el “planchón” el acero líquido se lleva a un equipo distribuidor, que básicamente es una caja metálica recubierta de ladrillo refractario, por la base de éste, el material se alimenta a un molde oscilatorio de cobre que se encuentra enfriado por agua, una serie de rodillos, también enfriados por agua, mueven el planchón mientras se enfría y solidifica. Una vez que sale la pieza, es llevada a una sección de corte con antorchas de oxígeno que le dan las dimensiones adecuadas, una segunda etapa de corte permite afinarlas, los planchones listos se marcan para identificarse posteriormente y se almacenan o se llevan directamente a la etapa de laminación en caliente, misma que puede variar según el producto a elaborar (AHMSA, 2012).

Nota: Para más detalle sobre el corte de metales, se puede consultar la subsección de este documento “corte de metales”.

Para hacer placas de acero, el planchón se calienta hasta $1,300^{\circ}C$ aproximadamente, luego en una serie de molinos de rodillos de dos direcciones (o reversibles), la placa se aplanada hasta las dimensiones necesarias, posteriormente la

placa se envía en una banda a una sección de enfriamiento y luego a otra de corte de ser necesario. Este producto es utilizado en la elaboración de maquinaria industrial, agrícola entre otras y es de suma importancia (AHMSA, 2012).

Para hacer lamina rolada (enrollada) de acero, el planchón se calienta hasta 1,300°C aproximadamente, luego pasa por una serie de molinos que reducen su espesor gradualmente, al final de esta línea hay un sistema de enfriamiento y enrolado que genera el “rollo verde”, este ya se puede vender o ser sometido a otros procesos, conocidos como de laminación en frío (AHMSA, 2012).

La laminación en frío inicia con un baño en una solución de HCl para eliminar óxidos de la superficie, operación que se conoce como decapado, luego, una serie de molinos en frío, reducen el espesor paulatinamente, luego, el rollo se lleva a una etapa de recosido que sirve para disminuir la dureza del material, posteriormente se pasa por otra serie de rodillos (molinos) que templan el material, algunos productos, son sometidos posteriormente a una serie de equipos que mediante procesos mecánicos, mejoran la superficie y otras propiedades del material (AHMSA, 2012).

Cuando es necesario, los rollos se envían a una etapa de tratamiento superficial, para mejorar, aun más sus propiedades, estos tratamientos suelen ser el estañado y el cromado (AHMSA, 2012).

Para hacer piezas de acero para la construcción, denominados perfiles pesados, el planchón se corta en secciones cuadradas conocidas como “tochos”, luego éstos se calientan hasta 1,250°C para luego ser sometidos a una serie de máquinas conforman la pieza final como vigas, ángulos y otras (AHMSA, 2012).

PLANTA DE SINTERIZADO

El desempeño superior de los altos hornos actuales es, en buena parte, gracias a plantas como la de sinterizado que preparan las materias primas a utilizar, mejorando su permeabilidad y disposición a ser reducidas, esta preparación exige la aglomeración, ya sea por peletización o por sinterizado, la carga consiste en una mezcla de mena fina, de un mineral o mezcla precisa de varios, aditivos, materiales que contienen hierro (Fe) que se reciclan de procesos posteriores, como el polvo grueso del gas y lodos del alto horno, de molinos, colada entre otros, a los cuales se les adiciona polvo fino de coque (“breeze”, que literalmente significa “briza”) para permitir la ignición de la mezcla (BREF, 2001a).

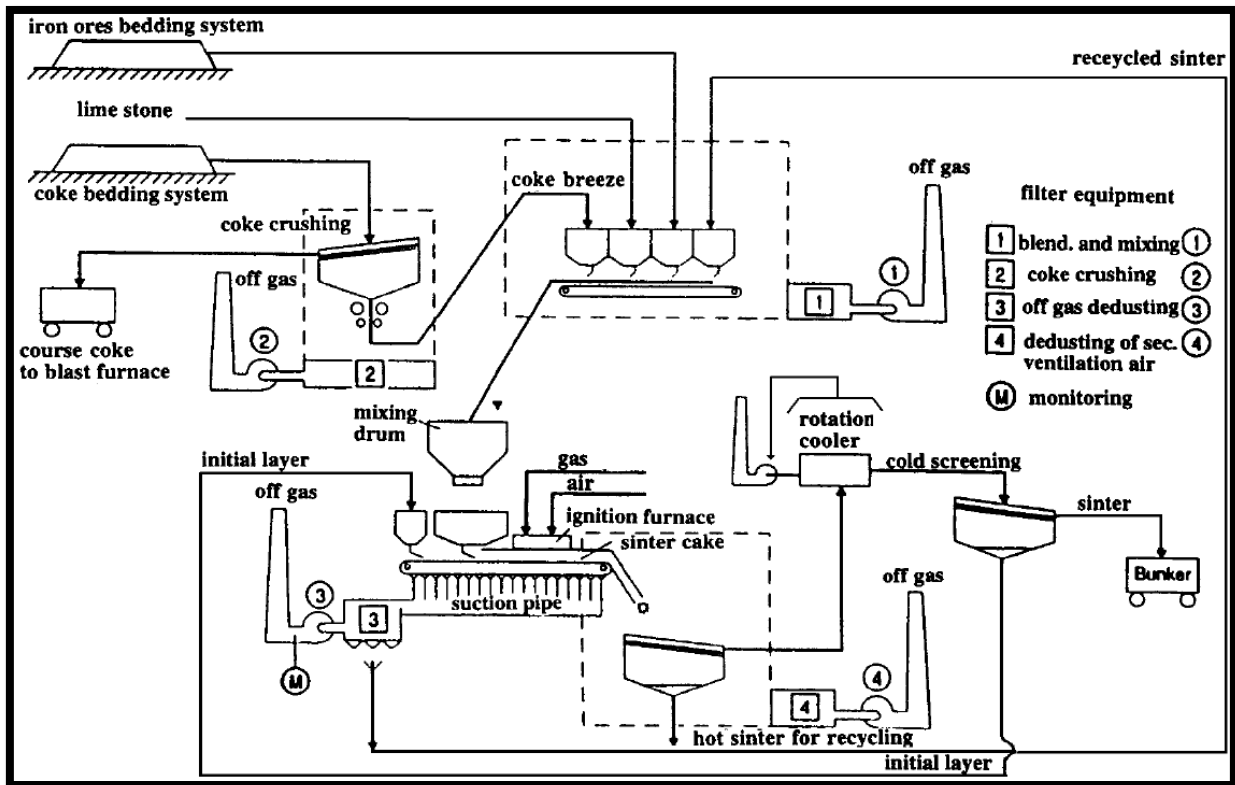


Figura 13. Proceso de sinterizado utilizado en siderúrgicas para mejorar la alimentación al alto horno y de esta manera, lograr un mejor desempeño de éste.

En la figura se aprecian los puntos de generación de emisiones de partículas suspendidas al aire, mismas que se procuran capturar y reciclar al proceso por motivos económicos, ambientales y de seguridad y salud laboral, tomado de (BREF, 2001a).

La operación de sinterizado requiere que los materiales se **mezclen** adecuadamente en una etapa anterior, esto involucra disponer en capas a los distintos materiales en áreas preparadas, en cantidades precisas, la adición de material de reciclo de otras etapas se hace también aquí. Las camas de mena son usualmente terminadas con una capa de material grueso que evita que el viento las arrastre, al comienzo de la operación de sinterización, la mezcla de mena se lleva desde las camas hasta las **tolvas** de la planta de sinterizado (BREF, 2001a).

Los **aditivos**, como la **cal**, **piedra caliza**, olivino, polvo colectado de los molinos, polvos retirados de la corriente de gas del alto horno, sinterizado de reciclo del tamizado de éste (partículas de menos de 5mm) y lodos de varios orígenes (generalmente en cantidad relativamente menor), son añadidos también (BREF, 2001a).

El **coque** (tamaño de partícula <5mm) es el combustible más utilizado para el proceso, producido de la planta de coque es molido para reducirle el tamaño de partícula y luego llevado a una tolva, la antracita es una alternativa para siderúrgicas

que no tienen la capacidad suficiente de coquizado o acceso a coque de fuentes externas.

La mena y los finos de coque, se pesan en **bandas transportadoras** y luego se cargan en un **tambor** de homogenizado, ahí, se mezclan completamente y la mezcla se humedece para favorecer la aglomeración de los materiales, formando pequeñas esferas, denominadas micro pellets, que mejoran la permeabilidad de la cama de sinterizado (BREF, 2001a).

Las **partículas** generadas durante las operaciones de mezclado y homogenizado se **colectan** mediante la extracción de aire para luego ser colectadas y **recicladas** al proceso, eliminando lo más posible, las pérdidas de material y las emisiones de partículas suspendidas al aire (BREF, 2001a).

La operación de sinterizado consiste básicamente en una rejilla larga de hierro moldeado resistente al calor, el **material a ser sinterizado** se coloca en la superficie de una capa de 30 a 50mm de profundidad de sinterizado de reciclo, esta capa evita que la mezcla pase por los agujeros y rendijas de la rejilla, protegiéndola del calor directo y la mezcla incandescente.

En plantas actuales de sinterizado, la capa de material a ser sinterizado es de 400 a 600mm de profundidad aunque en plantas más antiguas la profundidad es menor. Al inicio de la rejilla hay un **pabellón de quemadores** de gas que encienden los finos de coque de la mezcla, corriente abajo, un **ventilador** genera un flujo de aire de proceso a lo largo de toda la cama de sinterizado hacia unas cámaras de distribución localizadas por debajo de la rejilla, conocidas como “cajas de viento”, el flujo de gas de desecho varía desde 350,000 a 1,600,000Nm³/h, según el tamaño de la planta y las condiciones de operación, (EC Sinter, 1995). Típicamente el flujo de aire es entre 1,500 a 2,500Nm³/t de sinterizado de grado (útil o producido) (UBA, 1997).

Conforme la mezcla de sinterizado se mueve a lo largo de la rejilla, el frente de **combustión** es marcado corriente abajo a través de la mezcla, esta condición genera una temperatura de entre 1,300 y 1,480°C y energía suficiente para unir las partículas más finas a una masa de “escoria” (clinker) que se conoce como sinterizado (BREF, 2001a).

Durante este proceso se generan una serie de **reacciones químicas y metalúrgicas** que le dan las propiedades al sinterizado pero que también generan emisiones de polvo y gases, las reacciones ocurren al mismo tiempo y se influyen unas a otras, ocurriendo en estado sólido, gaseoso y en fase heterogénea (dos fases involucradas), algunas de las reacciones y procesos físicos son características de mezclas con una razón de composición de CaO/SiO₂ de entre 1.5 a 1.7 (basicidad) (Matzke, 1987) son: evaporación del agua de humedad, precalentamiento y calcinación de componentes básicos, encendido de finos de coque y reacciones entre el carbón, pirita, cloruros, fluoruros y oxígeno, descomposición de hidratos y separación de carbonatos, reacción del CaO y la hematita, reacción de silicatos con el óxido de calcio, óxidos de hierro para generar una fase fundida de silicatos,

formación de compuestos de sulfuro de calcio y fluoruros junto con cloruros de álcalis y cloruros de metales, formación de cavidades y canales en el sinterizado por la expansión de los gases producidos en la combustión del coque y la evaporación del agua presente, procesos de re oxidación y re cristalización, que generan dureza y adhesiones durante el enfriamiento del sinterizado, formación de grietas por el estrés térmico durante el enfriamiento, modificación de la microestructura de los componentes entre otros (BREF, 2001a).

Cuando el enfriamiento no se hace en la rejilla, el material se lleva a un **enfriador**, éste es típicamente una estructura rotatoria grande (de 20 a 30m de diámetro), en donde el sinterizado se coloca en una capa de más de un metro de espesor para que se enfríe mediante una corriente ascendente de aire (atraviesa lo ancho de la capa), los flujos de aire son de 1,500 a 2,500Nm³/ton de sinterizado, lo que lleva a flujos de entre 100,000 y 1,000,000 Nm³/h. En algunas plantas, el flujo de aire de enfriamiento, ya calentado por el sinterizado, se utiliza para precalentar el sinterizado verde (materiales que van hacia el pabellón de quemadores), en un calentador entre otros usos (EC Sinter, 1995).

El material **enfriado** se envía a una serie de **tamices** para separar los “granos” que se alimentan **al alto horno** (4 a 10mm y 20 a 50mm de diámetro) de los que se reciclan al proceso de sinterizado (hasta 5mm como finos, 10 a 20mm como **capa de protección** de la rejilla).

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en esta planta, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 7.1, 7.2 y 7.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a un estudio de 5 plantas de sinterizado ubicadas en estados miembros de la Unión Europea).

Recuadro 7.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de una planta de sinterizado (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de sinterizado
Mena de hierro	680 a 850 ⁽¹⁾
Otros materiales ricos en hierro	37 a 125
Cal (CaO)	0.5 a 1.4
Piedra caliza	105 a 190
Aditivos	26 a 42
Polvo del gas de alto horno	11 a 27
Materiales reciclados de otros procesos	42 a 113
Materiales reciclados del sinterizado	230 a 375

Nota 1: Se consumen hasta 1,065kg/ton de sinterizado si se utiliza mena de bajo contenido de hierro.

El consumo de energía, aire y agua de estas plantas está en los siguientes intervalos.

Recuadro 7.2. Intervalos de consumos de energía, agua y aire comprimido en plantas de sinterizado (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad	Valor
Gas de coque, gas de alto horno, gas natural	MJ/ton de sinterizado	57 a 200 ⁽²⁾
Coque	MJ/ton de sinterizado	1,260 a 1,380 ⁽³⁾
Energía eléctrica	MJ/ton de sinterizado	96 a 114
Agua	M ³ /ton de sinterizado	0.01 a 0.35
Aire comprimido	Nm ³ /ton de sinterizado	1.2 a 3

Nota 2: El consumo depende de la eficiencia de la ignición que se tenga en la instalación.

Nota 3: Con un poder calorífico de 28,650kJ/kg para el coque fino se tienen consumos de 44 a 48kg de coque fino.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE SINTERIZADO

El principal impacto ambiental del sinterizado son las emisiones de gases y de partículas, las cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios de este tipo de plantas ubicadas en miembros estados de la Unión Europea.

Recuadro 7.3. Intervalos de composición de emisiones de gases de plantas de sinterizado, tomado de (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ⁴	Valor
Polvos	g/ton acero líquido	170 a 280 ⁽⁵⁾
Cd	g/ton acero líquido	0.002 a 0.04 ⁽⁶⁾
Cr	g/ton acero líquido	0.005 a 0.05 ⁽⁶⁾
Cu	g/ton acero líquido	0.007 a 0.16 ⁽⁶⁾
Hg	mg/ton acero líquido	16 a 149 ⁽¹³⁾
Mn	g/ton acero líquido	0.02 a 0.4 ⁽⁶⁾
Ni	g/ton acero líquido	0.002 a 0.04 ⁽⁶⁾
Pb	g/ton acero líquido	0.04 a 7 ⁽⁶⁾
Tl	g/ton acero líquido	0.005 a 0.03 ⁽⁶⁾
V	g/ton acero líquido	0.005 a 0.02
Zn	g/ton acero líquido	0.002 a 1.8 ⁽⁶⁾
HCl	g/ton acero líquido	17 a 65 ⁽⁶⁾
HF	g/ton acero líquido	1.4 a 3.5
NOx	g/ton acero líquido	440 a 710
SO ₂	g/ton acero líquido	800 a 1850
CO	kg/ton acero líquido	13 a 43
CO ₂	kg/ton acero líquido	205 a 240 ⁽⁷⁾
Compuestos orgánicos volátiles	g/ton acero líquido	150 ⁽⁸⁾
Com. aromáticos poli cíclicos	g/ton acero líquido	115 a 915 ⁽⁹⁾
Bifenilos policlorados	g/ton acero líquido	1 a 13 ⁽¹⁰⁾
Dioxinas y furanos	µg I-TEQ/ton acero líquido	0.5 a 6.5

Nota 4: Los factores de conversión usados son: 1,160kg de sinterizado por tonelada de arrabio y 940kg de arrabio por tonelada de acero líquido.

Nota 5 Los valores corresponden a precipitadores electrostáticos, si se usan ciclones se tienen de 560 a 740g/ton AL, si se tienen precipitadores electrostáticos y filtros de bolsas 10 a 30g/ton AL, si se cuenta con un lavador (scrubber) <110g/ton AL.

Nota 6: El valor bajo corresponde a la aplicación de un sistema de enfriamiento (quench) y un lavador (scrubber) de finos después de un precipitador electrostático o un precipitador electrostático con un filtro de bolsas.

Nota 7: Los valores hasta de 425kg CO₂/ton AL si se utiliza mena que contenga carbonato ferroso (FeCO₃).

Nota 8: El dato solo viene de una planta, los COVs fueron medidos de forma continua con un detector de ionización de flama en 11 ciclos de muestreo.

Nota 9: Suma de EPA 16, calculados según Bornef 6 con 2100Nm³/ton de sinterizado.

Nota 10: Suma de todos los BPC, calculados según el factor 5 del documento UN-ECE 1997 con 2,100m³ de gas de rechazo (offgas)/ ton de sinterizado.

Nota 11: Si parte del polvo es dispuesto en un vertedero (polvo del último campo de los precipitadores electrostáticos).

Nota 12: Si se utiliza un sistema de lavado fino.

Nota 13: Se toma el valor alto cuando se tienen menas con cantidades considerables de Hg.

Un estudio realizado por las Naciones Unidas sobre dioxinas y furanos menciona que la emisión de estos contaminantes a la atmósfera en plantas de sinterizado es de 0.3 µg I-TEQ/ton sinterizado producido para plantas con alta tecnología de control, 5 µg I-TEQ/ton sinterizado producido para plantas bien operadas y escasa utilización de desechos y hasta 20µg I-TEQ/ton sinterizado producido. El sinterizado producido también contiene dioxinas y furanos aunque como este se introduce al alto horno que opera a muy altas temperaturas, las dioxinas y furanos son destruidas por lo que no se considera un fuente de emisión. Los residuos sólidos, como los polvos recolectados contienen aproximadamente 0.003 µg I-TEQ/ton de sinterizado producido aunque puede variar (PNUMA, 2005).

Como residuos sólidos se generan entre 0.9 y 1.5kg de polvos colectados (nota 11 del recuadro anterior) disposición final) y aproximadamente 0.3kg de lodos (nota 12), el agua de desecho es de aproximadamente 0.06m³ (nota 12 del recuadro anterior), En todo caso, por tonelada de acero líquido, igual que en el recuadro anterior.

El consumo de **agua de enfriamiento** es utilizada para mantener operando las cámaras de ignición, los ventiladores y en general a la maquinaria de sinterización, el consumo puede variar pero una instalación de 4Mt/año de productos de acero, el consumo de agua de enfriamiento en la planta de sinterizado es de aproximadamente 600m³ por hora aunque esta agua es enfriada y reciclada por completo, solo reponiéndose las perdidas por evaporación que son mucho mayores en sistemas abiertos (torres de enfriamiento abiertas), esta agua se puede contaminar con los fluidos lubricantes y grasas de la maquinaria que enfría aunque esta contaminación es relativamente pequeña comparada con la encontrada en el agua de enfriamiento de otras industrias (como la petrolera) (BREF, 2001a).

El consumo de **agua para mitigar** o eliminar perdidas de material por acarreo del viento no se realiza en todas las operaciones y en la medida de lo posible debe evitarse para evitar escorrentías que, aunque disminuyen las emisiones de partículas, aumentas las que van en ella, estas pueden incluir sólidos suspendidos con metales pesados, si se utilizan, deben de ser colectadas y tratadas adecuadamente antes de ser descargadas. El volumen consumido en plantas de sinterizado se ha reportado de aproximadamente 460m³ por día en una planta de 11,000 toneladas de sinterizado por día (BREF, 2001a).

El agua de **desecho**, generada si se utiliza un sistema de lavado (ver nota 12), contiene sólidos suspendidos que incluyen metales pesados y otros elementos, compuestos organohalogenados como dioxinas y furanos, bifenilos policlorados, compuestos aromáticos policíclicos, compuestos de azufre, fluoruros, cloruros entre otros (BREF, 2001a). Respecto a las dioxinas y furanos no se tiene información suficiente al respecto, (al menos no para una descripción más detallada ni para

desarrollar una forma de estimación) (PNUMA, 2005).

PLANTA PELETIZADORA

Como ya se mencionó, la peletización, al igual que el sinterizado son plantas complementarias que preparan las materias primas para hacer acero y hierro de primera fundición, cada una con ventajas y desventajas particulares, las que son ampliamente influidas por las condiciones locales como la disponibilidad y tipo de materiales. Por varias razones, el sinterizado generalmente es producido en la siderúrgica ya que permite que muchos desechos sólidos del proceso sean reciclados, el sinterizado es proclive a degradarse durante el transporte y manejo (BREF, 2001a).

Los pellets son formados a partir de la materia prima, mena fina y aditivos de menos de 0.05mm conforman esferas de 9 a 16mm aplicando altas temperaturas. La planta por lo regular esta en las instalaciones mineras aunque la integración de procesos la ha llevado a la siderurgia (así como también a las operaciones de concentración e incluso las de extracción en algunos casos) (BREF, 2001a).

En términos generales, la planta realiza operaciones de molienda, desaguado y secado, aglomerado y maduración, seguidas del tamizado y manejo, las cuales se representan esquemáticamente en la siguiente figura (BREF, 2001a).

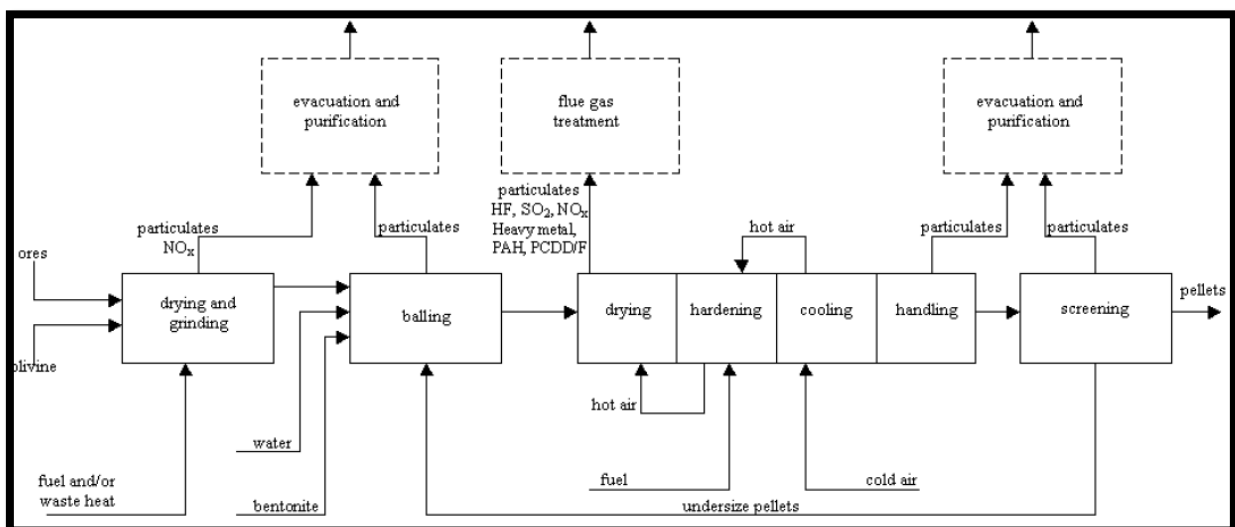


Figura 14. Esquema general del proceso llevado a cabo por las plantas de peletización, que también preparan la alimentación al alto horno

Molienda, secado y eliminación de agua

Antes de ser alimentado a la planta peletizadora la calidad de la mena es mejorada mediante varios procesos de separación, con trituración y molienda intermedia. Las propiedades de la mena hace posible utilizar medios magnéticos como los principales medios de concentración. En muchos casos, la molienda y la

concentración de mineral de hierro se hace con base húmeda, en algunos se lleva a cabo a altas temperaturas (100°C aproximadamente), los aditivos del proceso húmedo (olivino, dolomita, piedra caliza etc.) se adicionan a la lecha de la mena en una proporción de 3 a 3.5% respecto a su masa, antes de eliminar el agua, en otros procesos, después de la molienda en caliente, el material es rehidratado en mezcladores tipo cuchara y luego mezclado con los aditivos, en ambos casos, la humedad se ajusta a valores del 8 al 9% (BREF, 2001a).

Preparación de la “bola verde”

El pellet sin exceso de agua o rehumedecido es mezclado con aditivos y luego procesado en la unidad de preparación (de pellet verde). Esta está equipada típicamente con 4 y hasta 6 circuitos que constan de un compartimiento de alimentación, un tambor de boleo, tamices de rollo y bandas transportadoras de material. El tambor de boleo está inclinado de 6 a 8 grados. Para obtener una bola (verde) bien definida, típicamente de 9 a 16mm de diámetro, las fracciones menores y mayores son separadas y recirculadas (BREF, 2001a).

Endurecimiento

Que se lleva a cabo mediante calor, consiste en secar, calentar y enfriar, puede ser llevado a cabo en dos sistemas diferentes que son: en rejilla recta (cadena continua) o en kiln de rejilla, durante el tratamiento térmico, la magnetita se oxida casi completamente a hematita, lo que contribuye a la gran demanda de energía del proceso (BREF, 2001a).

Tamizado y manejo posterior

Al final de la línea de endurecimiento, los pellets son colectados y tamizados, aquellos que son más finos y que se rompieron se reciclan, en esta etapa generalmente se produce mucho polvo.

En las plantas que no están integradas, los pellets duros se mantienen en compartimientos cerrados antes de ser cargados en vagones de ferrocarril (o algún otro medio), para las plantas integradas, los pellets pueden pasar a un almacén temporal y luego cargarse al alto horno, antes de entrar a éste pueden o no ser tamizados de nuevo. La descripción anterior es general y aplica tanto para plantas con el sistema de rejilla en línea recta o kiln con rejilla (BREF, 2001a).

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en esta planta, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 8.1, 8.2 y 8.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a un estudio de 5 plantas de sinterizado ubicadas en estados miembros de la Unión Europea).

Recuadro 8.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de una planta de peletización (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de pellets
Mena de hierro	935 a 1120
Bentonita	5.1 a 7.2
Olivino	31 a 35.8
Piedra caliza ¹	0 a 3
Dolomita ²	31

Nota 1. En el caso de la producción de pellets para reducción directa.

Nota 2. En el caso de la producción de pellets para altos hornos.

El consumo de energía, aire y agua de estas plantas esta en los siguientes intervalos.

Recuadro 8.2. Intervalos de consumos de energía, agua y aire comprimido en plantas de sinterizado (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad	Valor
Gas de coque ³	MJ/ton de pellets	398.7
Gas natural ³	MJ/ton de pellets	209
Coque ⁴	MJ/ton de pellets	283
Carbón ⁴	MJ/ton de pellets	213 a 269
Petróleo	MJ/ton de pellets	38 a 171
Electricidad	MJ/ton de pellets	51 a 128
Agua	M ³ /ton de pellets	0.11 a 1.5
Aire comprimido	Nm ³ /ton de pellets	6.2 a 15.2

Nota 3. En el caso de que la integración de la planta a la siderúrgica.

Nota 4. En el caso de que la planta peletizadora sea independiente de la siderúrgica.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE PELETIZACIÓN

El principal impacto ambiental del peletizado son las emisiones de gases y de partículas, las cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios de este tipo de plantas ubicadas en miembros estados de la Unión Europea.

Recuadro 8.3. Intervalos de composición de emisiones de gases de plantas de peletizado (BREF, 2001a)

Salida	Unidad⁴	Valor
Polvos	g/ton de pellets	20 a 130
Cd	mg/ton de pellets	0.02 a 0.4
Cr	mg/ton de pellets	1 a 4.4
Cu	mg/ton de pellets	1.7 a 7.5
Hg	mg/ton de pellets	<0.1 a 0.4
Mn	mg/ton de pellets	8 a 38
Ni	mg/ton de pellets	5 a 25
Pb	mg/ton de pellets	3 a 130
Tl	mg/ton de pellets	n/d
V	mg/ton de pellets	21 a 150

Salida	Unidad ⁴	Valor
Zn	mg/ton de pellets	2.4 a 110
HF	g/ton de pellets	0.8 a 39
HCl ⁵	g/ton de pellets	2 a 48
NO _x ⁵	g/ton de pellets	18 a 250
SO _x ⁶	g/ton de pellets	120 a 510
CO	g/ton de pellets	<10 ⁴ a 410
CO ₂	kg/ton de pellets	15.6 a 31.8
Compuestos orgánicos volátiles ⁷	g/ton de pellets	<5 ⁴ a 40 ³
Com. aromáticos poli cíclicos ⁸	g/ton de pellets	0.19
Dioxinas y furanos ⁴	µg I-TEQ/ton de pellets	0.0057

Nota 5. Valor bajo si se aplican técnicas de remoción de ácidos del gas.

Nota 6. Valor bajo si se aplican técnicas de desulfuración del gas.

Nota 7. No se tienen el detalle de la técnica utilizada para hacer las mediciones.

Nota 8. El detalle si se utilizó/aplicó Borneff 6, EPA 16 o venzo pireno no se conoce.

Nota 9. Suma de EPA 16, calculada por Borneff 6.

Las emisiones de agua de desecho son por lo general del sistema de control de emisiones, los residuos sólidos son polvos recolectados de sistemas de control. No se tiene más información sobre los residuos sólidos generados ni de los detalles de descargas de agua aunque se sabe que son escasos o nulos (BREF, 2001a).

PLANTA DE COQUIZACIÓN

La pirólisis del carbón significa calentarlo en una atmósfera no oxidante para producir gases, líquidos y residuos sólidos (coque o char). La pirólisis del coque a altas temperaturas se le conoce como "carbonización". En este proceso, la temperatura de los gases de salida llega normalmente entre 1,1150 a 1,350°C, calentando indirectamente el carbón hasta 1,000 a 1,100°C por 14 a 24 horas. Esto produce el coque para siderúrgicas (altos hornos) y fundiciones. El coque sirve para generar el agente reductor principal y no puede ser reemplazado totalmente por otros combustibles como el carbón. Las funciones del coque, tanto como material de soporte y como matriz a través de la cual el gas circula en la columna (BREF, 2001a).

Para los años 1940, ya existía el diseño actual y moderno de las plantas de coque, los hornos eran de unos 12m de largo, 4 de alto y 0.5 de ancho, equipados con puertas en ambos lados, el suministro de aire se precalentaba con el gas caliente de salida, la recuperación de energía permitía mayores temperaturas y una tasa mayor de producción. Desde aquellos años, la operación se ha ido mecanizando y los materiales de construcción han mejorado sin alterar el diseño básico. Las plantas actuales tienen hasta 60 hornos de 14m de largo por 6 de alto, por consideraciones de transferencia de energía, los anchos se han mantenido entre 0.3 y 0.6m, cada batería puede albergar hasta 30 toneladas de carbón. Algunas plantas tienen diseños un poco mayores, gracias a desarrollos tecnológicos recientes (BREF, 2001a).

Estos desarrollos también se han enfocado en la reducción de emisiones y en mejorar las condiciones de trabajo, el proceso de elaboración de coque se puede subdividir en:

1. Manejo del carbón,

2. Operación de las baterías de hornos,
3. Manejo y preparación del coque,
4. Captura y tratamiento del gas de coque (“coke oven gas” o COG),
5. Recuperación de subproductos útiles,
6. Tratamiento de agua, (es frecuente tener plantas especializadas para efluentes de coquizadoras).

La figura siguiente muestra la operación típica de las plantas de coquización que hacen coque siderúrgico.

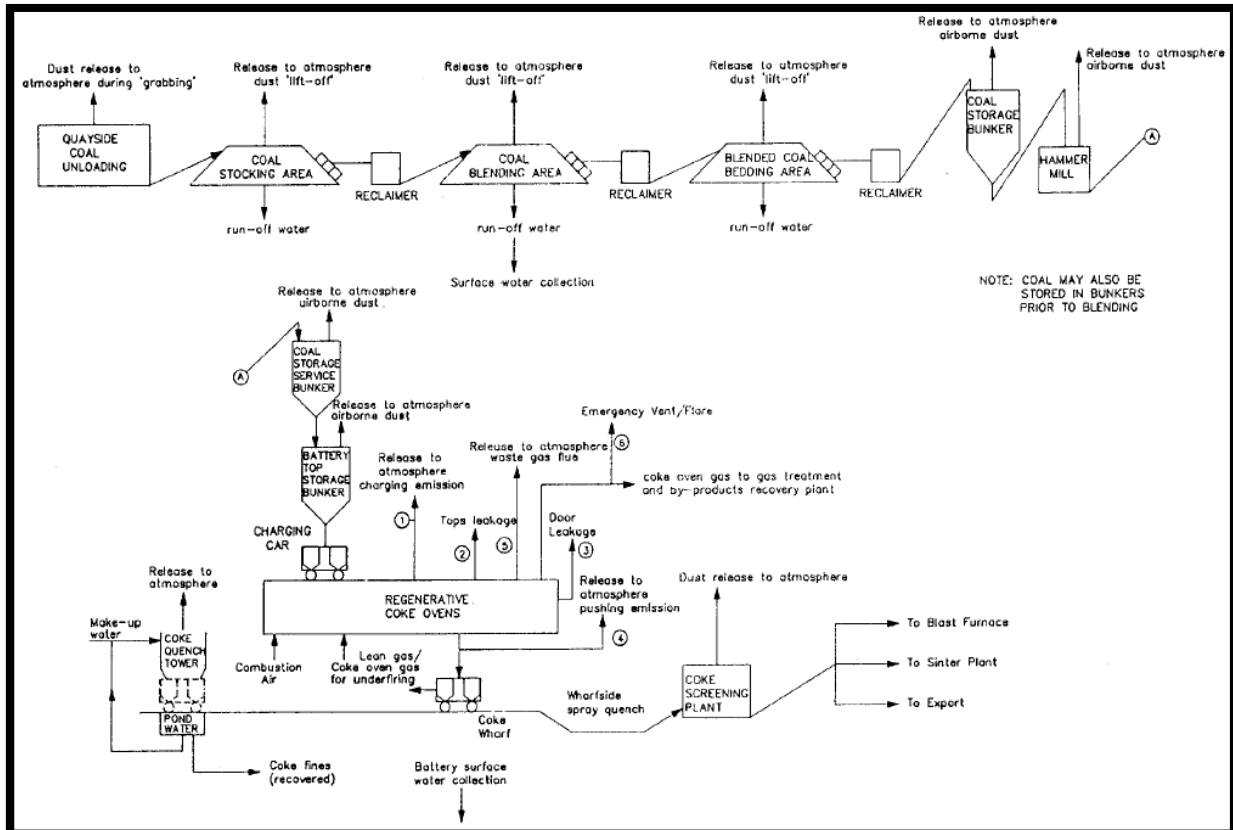


Figura 15. Proceso y operación de una planta coquizadora que produce coque siderúrgico, con la indicación de fuentes de emisión (BREF, 2001a)

Manejo del carbón. Incluye las siguientes operaciones (BREF, 2001a):

1. Descarga del carbón: incluye la descarga desde barcos, vagones, carros de carga o algún otro sistema, usualmente se utilizan grúas grandes con tenazas, el viento puede causar emisiones de polvos.
2. Almacenamiento: las coquizadoras normalmente tienen asociado un área grande para tal fin, el viento puede causar emisiones de polvos y es necesario cuidar la adecuada sedimentación del material y la generación de escorrentías de agua.

3. Transporte: para llevarlo e introducirlo al proceso por diferentes medios.
4. Preparación: que incluye el mezclado de la cama de material, en las tolvas, la trituración que generan emisiones de polvos. Durante el mezclado, materiales reciclados (como el alquitrán) se pueden agregar, lo que genera emisiones de compuestos volátiles.
5. Carga de la torre de carbón (más emisiones de polvos).
6. Carga del carro de carga (más emisiones de polvos).

Operaciones de la batería de hornos. Éstas incluyen las siguientes (BREF, 2001a):

1. Carga del carbón. Involucra una serie de técnicas para manejar carbón pulverizado (70 a 85% <3mm) a través de agujeros de carga, la más utilizada es la carga por gravedad utilizando carros de carga, de forma simultánea, secuencia o en etapas por alimentadores horizontales de tornillo (**screw**) o de mesa. (**turtables**), se toman medidas en estos sistemas para hacer la carga con la menor cantidad de emisiones posible. La carga por tubería o “masiva” (**stamp**) practicante no se utiliza. Las emisiones de polvos son generadas durante la carga misma, la evacuación de gases, durante el nivelado del carbón y emisiones fugitivas por el material residual (salpicado) en la cubierta del horno.
2. Encendido y calentamiento de las cámaras. Cada cámara está separada por paredes de calentamiento, que consisten en toberas para alimentar combustible, canales para flujo de calor y cajas de entrada de aire, según el diseño. La temperatura promedio, a boca de tobera, en ladrillo se fija entre 1,1150 a 1,350°C, quemado gas de coque limpio, gas de alto horno enriquecido.

Para mejorar la eficiencia energética, se instalan regeneradores bajo los hornos, que aprovechan el calor de los gases de salida para precalentar el aire de combustión o los combustibles a usar. Cuando las paredes presentan grietas (que es frecuente), parte del gas combustible (gas de coque por ejemplo) puede salir con los gases de combustión a la atmosfera.

3. Coquizado. El proceso de carbonización empieza inmediatamente después de la carga, el gas y la humedad eliminados constituyen entre el 8 al 11% de la masa de la carga. El gas crudo de coque es sacado por tuberías ascendentes hacia el colector principal. La capacidad calorífica de éste, es suficiente para utilizarlo como combustible para la misma operación (una vez purificado). El carbón permanece en el sistema hasta que el “centro” de la carga alcanza una temperatura de entre 1,000 a 1,100°C. lo que tarda entre 14 a 24h según el diseño y condiciones particulares de operación. De 1,000kg de coque alimentado, se obtienen entre 750 a 800kg de coque y aproximadamente 187kg de gas de coque aunque estos rendimientos varían según el tipo de carbón utilizado y el grado de coquización deseado.

4. Evacuación y enfriamiento del coque. El coque, totalmente carbonizado es empujado hacia afuera del horno hacia un contenedor utilizando un brazo mecánico (arm pusher), el contacto con el oxígeno atmosférico causa que el coque empiece a quemarse instantáneamente. El contenedor utilizado está adaptado para enfriar el contenido mientras lo transporta a una torre de apagado (quenching). Ahí, el coque es apagado directamente con grandes volúmenes de agua. La fracción de agua que no se evapora se colecta y se reutiliza en el siguiente lote, evitando así las emisiones (BREF, 2001a).

En el secado en seco, el coque caliente se lleva a una cámara de apagado vertical en donde se hace circular gas inerte alrededor de la cámara que está aislada de la atmósfera, evitando la combustión mientras se lleva a cabo el enfriamiento, el gas caliente se lleva a un intercambiador de calor para enfriarlo y recuperar algo de la energía (BREF, 2001a).

5. Tamizado y manejo del coque. Después de que ha sido enfriado el coque, se lleva a un almacén en donde se deposita formando pilas, de ahí, se transporta hacia una trituradora (o hacia barcos, ferrocarriles etc. si no está integrada la coquizadora), los finos (<20mm) se envían al sinterizado y la fracción gruesa (20 a 70mm) hacia el alto horno (BREF, 2001a).

6. Captura y tratamiento del gas de coque con recuperación de subproductos. El gas de coque crudo tiene un poder calorífico relativamente alto ya que contiene hidrógeno, metano, monóxido de carbono y otros hidrocarburos, además de otros productos útiles como alquitrán (de coque), aceites ligeros (que son ricos en aromáticos BTX (benceno, tolueno y xilenos)), sulfuros, sulfato de amonio y amoniaco. Por estas razones, es necesario tratarlo, recuperar estos subproductos y procesarlos (BREF, 2001a).

El flujo de gas de coque generalmente está entre 12 a 25m³/h/ton de carbón procesado, con una densidad entre 0.53 a 0.62kg/Nm³ y puede incluir (en % en volumen) de un 39 a 65 de H₂, 32 a 42 de CH₄, 3 a 8.5 de C_xH_y, 4 a 6.5 de CO, 3 a 4 de H₂S, 23 a 30 de BTX, 6 a 8 de NH₃, 2 a 3 de CO₂ más una pequeña fracción de compuestos aromáticos policíclicos (BREF, 2001a).

El tratamiento del gas de coque (y aguas de desecho) para eliminar de éste los contaminantes presentes y aprovechar los componentes útiles hace necesario la instalación de plantas especializadas anexas a las de coque, algunos diseños incluyen estos procesos de tratamiento y recuperación de subproductos dentro del diseño de la planta de coque como unidades adicionales, estas pueden incluir: pre enfriamiento, condensación del agua del gas, enfriamiento, recuperadores de naftaleno, H₂S, NH₃, benzol, absorbedores de sulfato de amonio (proceso Otto) o cristalizadores (proceso Wilputte), columnas de neutralización (de ácidos), secadores de gas, flotación (BREF, 2001a).

Además se puede tener plantas adicionales para aprovechar los subproductos,

como una de ácido sulfúrico para procesar el azufre recuperado y otra de refinación de benzol, que contiene aromáticos valiosos en petroquímica secundaria. (Comúnmente estas plantas no están integradas a las siderúrgicas, por lo que los subproductos se venden a otras compañías, como las petroleras o petroquímicas, que si pueden darle valor agregado a estos subproductos) (BREF, 2001a).

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en esta planta, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 9.1, 9.2 y 9.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a un estudio de 11 plantas de sinterizado de estados miembros de la Unión Europea).

Recuadro 9.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de una planta de coque (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de coque
Carbón	1250 a 1350

Nota 1. En el caso de la producción de pellets para reducción directa.

Nota 2. En el caso de la producción de pellets para altos hornos.

Además de la producción de coque, se genera gas de coque en el orden de 2,500 a 3,200 MJ/ton acero líquido (acero crudo) y de 3 a 90 MJ/ton de acero líquido crudo de vapor aunque hay plantas de diseño y construcción reciente que llegan a recuperar hasta 500MJ/ton de acero líquido. El consumo de energía, aire y agua de estas plantas esta en los siguientes intervalos.

Recuadro 9.2. Intervalos de consumos de energía, vapor, agua de enfriamiento y aire comprimido en plantas de coquizado (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad	Valor
Gas de alto horno y de coque	MJ/ton de coque	3,200 a 3,900
Electricidad	MJ/ton de coque	20 a 170 ¹
Vapor	MJ/ton de coque	60 a 300 ²
Agua de enfriamiento	M ³ /ton de coque	0.8 a 10
Aire comprimido	Nm ³ /ton de coque	7 a 15

Nota 1: Se toma el valor alto para plantas de más de 20 años

Nota 2: Plantas de 20 años o más pueden tener consumos de 1,200MJ/ton de coque

IMPACTO AMBIENTAL DE LA COQUIZACIÓN

El principal impacto ambiental de la producción de coque son las emisiones de gases y de partículas a la atmosfera, las cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios de este tipo de plantas en estados miembros de la Unión Europea).

Recuadro 9.3. Intervalos de composición de emisiones de gases de plantas de coque (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ³	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	17 a 75 ¹
SOx	g/ton de acero líquido	27 a 950 ⁵
NOx	g/ton de acero líquido	230 a 600 ¹
NH ₃	g/ton de acero líquido	0.8 a 3.4
H ₂ SO ₄	g/ton de acero líquido	0.7 ⁶
HCN	g/ton de acero líquido	0.02 a 0.4
H ₂ S	g/ton de acero líquido	4 a 20 ¹
CO	g/ton de acero líquido	130 a 1,500 ¹
CO ₂	kg/ton de acero líquido	175 a 200
CH ₄	g/ton de acero líquido	27 ⁷
Compuestos orgánicos volátiles	g/ton de acero líquido	4 a 8 ⁸
Benceno	g/ton de acero líquido	0.3 a 15 ⁹
Compuestos aromáticos poli cíclicos	mg/ton de acero líquido	170 a 500 ^{11 y 12}

Nota 1: En el caso de la producción de pellets para reducción directa.

Nota 3: Los factores de conversión utilizados (promedios ponderados para plantas en toda Europa), 358kg de coque por tonelada de arrabio, 940kg de arrabio por tonelada de acero crudo. (el acero líquido es el acero crudo).

Nota 5: Valor alto en el caso de gas de coque sin desulfurizar, para el gas de coque desulfurizado los valores son 27 a 300g/ton de acero líquido, el valor alto es para desulfuración insuficiente.

Nota 6: En el caso de la absorción de SO₂ generando H₂SO₄ como subproducto.

Nota 7: Solo se obtuvo información de una sola planta.

Nota 8: No incluyen el metano.

Nota 9: Valor bajo para plantas menores a 5 años.

Nota 10: Según EPA 16.

Nota 11: Solo se obtuvo información de dos plantas.

Nota 12: En el caso de la absorción de SO₂ con licor de amonio.

Nota 13: En el caso de absorción de SO₂ y recuperación de azufre elemental.

Puede haber liberaciones de dioxinas y furanos al aire durante la carga/descarga del carbón/coque y durante el calentamiento, como no hay gases conducidos (a través de chimeneas) durante el proceso, es difícil hacer mediciones y se tiene poca información al respecto, como primera aproximación se tiene una generación de 3µg/ton de coque producido si la instalación no cuenta con sistema de control de emisiones y de 0.33µg I-TEQ/ton de coque producido para aquellas con sistemas de poscombustión y retención de polvo (PNUMA, 2005).

Los **residuos sólidos** (o subproductos aprovechables, según como se vea) por tonelada de acero líquido corresponden a 8 a 15kg de benceno, 4 a 9kg de H₂SO₄ (nota 6 del recuadro anterior), 25 a 46kg de alquitrán (de coque), 1.5 a 2.3kg de azufre elemental (nota 13 del recuadro anterior) y 0.3 a 0.4m³ de agua de desecho (BREF, 2001a).

Las **emisiones continuas de agua** provienen de varias fuentes, las que es necesario especificar para tener la dimensión de su impacto al medio ambiente y son las siguientes:

La **Humedad del carbón** consiste en una masa de entre el 8 a 11% de éste, por lo que se tiene de 0.08 a 0.11m³ de agua, si se producen alrededor de 780kg de coque por tonelada de carbón procesado, se tendrá un flujo de vapor de agua de 0.1 a 0.13m³/ton de coque (BREF, 2001a).

La descomposición térmica del carbón genera agua adicional, según el tipo de carbón, se pueden obtener de 3 a 5% en peso de **agua** conocida como “**química**”, que corresponde a 0.04 a 0.06m³/ton de coque. Si se utiliza inyección de vapor para aspiración y succión de gases de carga, la condensación de éste resultara en agua adicional condensada en los enfriadores, ésta se considera parte del agua de coque (BREF, 2001a).

El **agua** abandona el **horno de coque** por medio de tuberías ascendentes para luego ser condensada junto con el alquitrán (de coque) del gas de coque crudo. La mezcla de alquitrán y agua se lleva a un separador que elimina esta agua llamada “de coque”, que se envía una columna de destilación para eliminar el NH₃ (BREF, 2001a).

Después de eliminar el NH₃, el efluente todavía contiene compuestos orgánicos (como el fenol) y otros inorgánicos (como cianuros y amonio residual) por lo que se tiene que tratar todavía en una planta de tratamiento posterior antes de descargarse o de reusarse (según el grado del tratamiento) (BREF, 2001a).

El agua generada por procesos de desulfuración por oxidación húmeda es tratada por separado, ya que es más fácil hacerlo así ya que contiene compuestos de arsénico (proceso Thylox), ácido 1,4 naftoquinona-2-sulfónico (Takahax), ácido pícrico y tiocianuros (proceso Fumacks/Rhodacs), amoniaco libre y el fijo, SO₄, S₂O₃ entre otros (BREF, 2001a).

En el agua proveniente de lavadores húmedos puede contener partículas arrastradas y otros contaminantes como dioxinas y furanos, como primera aproximación se estima que puede haber 0.06µgEQT/ton de coque producido antes del tratamiento y 0.006 µgEQT/ton de coque producido para el agua después del tratamiento (se supone una eficiencia de un 90%) (PNUMA, 2005).

La mayor parte del **agua de enfriamiento** es utilizada indirectamente para enfriar el gas de coque cuando es tratado, esta agua usualmente se recircula en un circuito, el consumo de agua fresca para reponer las pérdidas por drenaje y evaporación es de 6 a 10m³/h que corresponde aproximadamente a 0.06m³/ton de coque. El enfriamiento directo del gas de coque normalmente utiliza licor (solución) de amonio en un circuito cerrado cuyo flujo es de 6m³/ton de coque (BREF, 2001a).

El **apagado de coque** genera **emisiones discontinuas** de agua, sin embargo, estas se pueden evitar al hacer la operación adecuadamente, el exceso de agua se colecta y se almacena para el siguiente lote, el exceso de agua se puede utilizar en otras plantas también, eliminando las emisiones de agua (BREF, 2001a).

Durante el tratamiento del gas de coque, el alquitrán y otros compuestos orgánicos (aromáticos, BTX por ejemplo) son recuperados, las fugas o derrames de éstos constituyen la principal fuente de contaminación **del suelo** y además, las de agua de carbón también pueden contener estos compuestos y representar este riesgo, según sus características. Las emisiones fugitivas de los compuestos orgánicos

recuperados del gas de coque son en cantidades relativamente pequeñas, sobre todo comparadas con aquellas encontradas en instalaciones petroquímicas y de refinación (BREF, 2001a).

Para evitar fugas, derrames y emisiones fugitivas de hidrocarburos, existen documentos especializados, sobre todo para la industria del petróleo, por ser este aspecto, mucho más importante. En general se puede considerar una serie de medidas para evitarlos y reducirlos lo más posibles (BREF, 2001a).

1. Reducir el número de bridas y otras uniones,
2. Inspeccionar tuberías y bridas adecuadamente (de ser posible, ubicarlas en lugares de fácil acceso),
3. Seguir protocolos adecuados de transporte y manejo de sustancias que representen riesgo laboral y/o ambiental.

ALTO HORNO

Los primeros altos hornos, que utilizaron coque, fueron introducidos en la industria siderúrgica en 1735 (Ullmann, 1994), no tardó mucho tiempo para convertirse en el sistema principal (por mucho) y más importante para la producción de arrabio y por lo tanto de acero, se estima que por lo menos en los siguientes 20 años lo seguirá siendo. En la siguiente figura se muestra un esquema simplificado de un alto horno (BREF, 2001a).

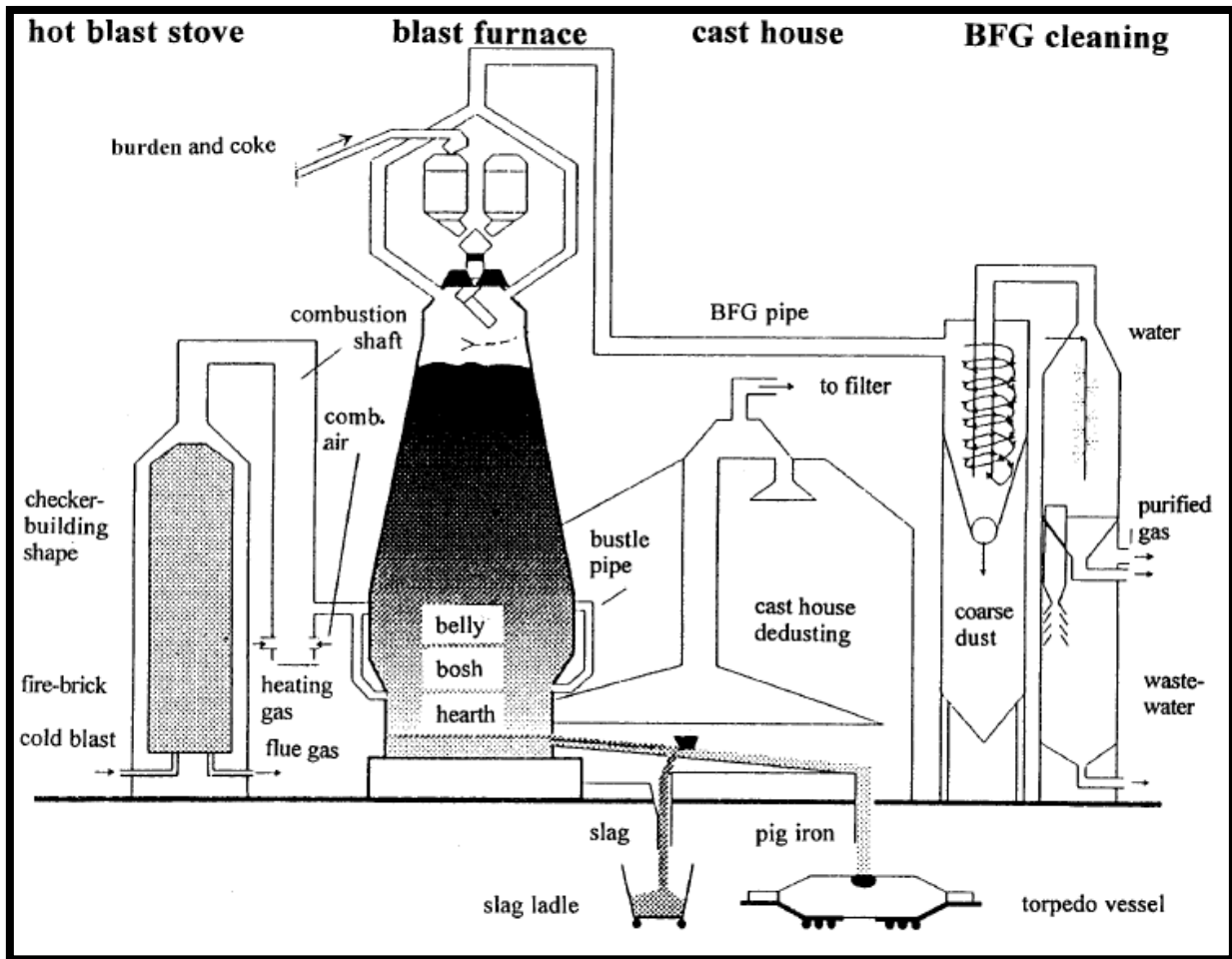


Figura 16. Esquema simplificado de un alto horno usado en siderúrgicas de todo el mundo desde hace casi 3 siglos (BREF, 2001a).

Las operaciones principales llevadas a cabo en o relativas a un alto horno son las siguientes (BREF, 2001a):

1. Carga de materiales,
2. Generación de la ráfaga caliente,
3. Proceso interno del alto horno,
4. Inyección directa de agentes reductores,
5. Salida del arrabio y escoria,
6. Procesamiento de la escoria.

Carga de materiales

La mezcla de materiales de hierro (mena, sinterizado y pellets), aditivos (fluidificantes) es denominado colectivamente como “carga”, ésta y el coque son introducidos por la parte superior del alto horno por medio de bandas transportadoras, visibles desde fuera por su tamaño. Entran por medio de un sistema de carga cerrado (tragante) que evita que los gases del horno salgan a la atmósfera,

esto es necesario, ya que la presión en la boca del alto horno es mayor a la atmosférica, usualmente se encuentra en un intervalo de 0.25 a 2.5bar manométrico, según el diseño, tiempo de operación, la presión disponible para la ráfaga y las limitaciones asociadas a la planta de tratamiento de gases. Al momento de la carga se pueden producir emisiones de partículas suspendidas aunque el diseño del sistema de captura debe de evitar la salida del gas de alto horno y de éstas lo más posible (BREF, 2001a).

Generación de la ráfaga caliente de aire

La ráfaga caliente del alto horno es generada por “estufas calientes” (“hot stoves”, también conocidas como “Cowpers del alto horno” por analogía con las glándulas de cowper o bulborettrales del hombre), estos equipos son auxiliares del alto horno usados para precalentar el aire. Esto favorece la adecuada operación del horno y disminuye el consumo de carbono. La ráfaga caliente (hot blast) se necesita para transmitir calor a la carga sólida para alcanzar la temperatura de reacción. La ráfaga también proporciona el oxígeno para la gasificación del coque y la energía cinética para que estos gases lleguen a los óxidos de hierro y los reduzcan (BREF, 2001a).

Las estufas calientes operan en ciclos. Son calentadas al quemar algún combustible (usualmente el gas enriquecido de alto horno). Cuando el domo alcanza la temperatura adecuada (1,100 a 1,500°C), se corta el suministro de gas y aire atmosférico frío es impulsado dentro de las estufas en sentido inverso. El aire caliente se calienta al ponerse en contacto con los ladrillos calientes, constituyendo el cuerpo de la ráfaga caliente, (900 a 1,350°C), la que se alimenta al alto horno. El proceso continua hasta que la estufa no puede generar la temperatura adecuada, momento en el cual, se inicia la regeneración y otra empieza a operar. La duración de cada ciclo depende de las condiciones particulares de operación (como la fuente de energía usada, diseño etc.) y medidas de conservación, recuperación y aprovechamiento de energía. Las estufas pueden ser de combustión interna o externa, esta característica es importante respecto a la generación de emisiones de monóxido de carbono (CO) (BREF, 2001a).

Por lo general, un alto horno necesita 3 o cuatro estufas para operar, las emisiones de gases de combustión se generan durante la fase de calentamiento (regeneración) de la estufa (Ashby, y otros, 1992).

Proceso interno del alto horno

En el alto horno, las materias primas entran por arriba y los productos (arrabio y escoria) son empujados hacia afuera por la parte inferior del hogar (hearth) del alto horno, la carga se mueve hacia abajo a contracorriente con los gases reductores calientes. El gas de alto horno con valor como energético, se colecta en la parte superior (BREF, 2001a), (Avenner, 1989).

El alto horno se puede dividir en 6 zonas según la temperatura.

1. La parte superior: es la más fría, por donde ingresa la carga y se colecta el gas de alto horno.
2. Cuerpo o columna: en esta parte, los gases proporcionan la energía a la carga sólida, la temperatura de éstos se incrementa desde la ambiental hasta unos 950°C, los óxidos de hierro se reducen parcialmente.
3. El vientre: es la parte que une el cuerpo con la zona de “bosh”, en esta, la temperatura se incrementa de 950°C a 1,250°C, la reducción del hierro continúa y las reacciones del coque comienzan.
4. Bosh: es la parte de ahusamiento del horno más baja, situada inmediatamente arriba de las tuyères (dispositivo inyector de la ráfaga caliente), en esta parte se forma la escoria y la carga sólida se funde, las reacciones del coque ocurren simultáneamente.
5. Las Tuyères: en esta zona, se introduce la ráfaga caliente a través de una serie de tuyères (hasta 42), estos dispositivos se localizan alrededor del perímetro superior del hogar y son alimentadas por una tubería larga que circula el horno a la altura del bosh. Las temperaturas pueden exceder los 2,000°C y los óxidos de hierro son completamente reducidos a hierro metálico.
6. Hogar (hearth): es el lugar en donde se colecta el arrabio y la escoria, las paredes de esta sección son refractarias para guardar el calor y proteger la estructura de base. Por lo general se tienen de dos a cuatro piqueras o canales de vaciado, operando 1 o 2 a un tiempo para vaciar los productos a los carros transportadores (por su forma, en algunos lugares les llaman “torpedos”).

El cuerpo, vientre, bosh y tuyère son típicamente enfriados con agua, aceite o aire, el horno está recubierto y protegido con material refractario, siendo mayor el espesor en la parte inferior, algunos diseños incluyen espesores de 1.5m de ancho y materiales como el grafito se incluyen en diseños actuales. La producción de arrabio varía de 0.5Mt/año a 4Mt/año (megatoneladas por año = 10⁶ton/año) (BREF, 2001a).

El gas de alto horno contiene de 20 a 28% de CO, 1 a 5% de H₂, componentes inertes como el N₂ de 50 a 55%, 17 a 25% de CO₂, pequeñas cantidades de sulfuros y cianuros y grandes cantidades de polvos de la carga. La cantidad de cianuros puede llegar a ser particularmente alta durante las operaciones de soplado del horno, para lo que se toman precauciones para minimizar la generación de éstos. El poder calorífico del gas de alto horno varía de 2.7 a 4MJ/Nm³, el volumen producido varía entre 1,200 a 2,000Nm³/ton de arrabio (BREF, 2001a).

Después de limpiarlo, el gas de alto horno se utiliza como combustible, en ocasiones mezclado (enriquecido) con gas de coque o gas natural, para darle un poder calorífico mayor, en las estufas calientes muchas veces se utiliza sin enriquecer (UBA, 1997).

El **zinc (Zn)** y **plomo (Pb)** presentes en la carga, así como muchos otros en cantidades menores, se distribuyen entre la fase líquida metálica y la escoria. En el metal generalmente se encuentran pequeñas cantidades de P, S, Mn, Si, Ti, Al, Ca, Mg mientras que la mayor cantidad de Si y S se quedan en la escoria como óxidos y con otros metaloides (semiconductores como el B, Po, Te, Sb, As, Ge y B, además del Si) (BREF, 2001a).

La totalidad del Zn en la carga varía entre 100 a 200g/ton de arrabio, como regla de dedo, la mayoría de las plantas modernas restringen la cantidad de Zn a 100 a 150g/ton de arrabio. Los materiales reciclados con contenido alto de Zn y Pb normalmente no son aceptados, o usados en cantidades limitadas, (BREF, 2001a).

La remoción de Zn y Pb del horno se hace operándolo de tal manera que la temperatura en el centro del horno se mantenga arriba de 400°C, así, el Zn se oxida y el ZnO es arrastrado con el gas y eliminado, recuperándolo posteriormente al tratar el gas de alto horno (Pazdej, 1995).

Inyección directa de agentes reductores

Se realiza a nivel de la tuyère, permite reducir adición de coque por la parte superior. Esta práctica permite al operador optimizar el desempeño del alto horno, consumir menos energía y por ende, reducir las emisiones derivadas del consumo de coque por tonelada de acero producido. Muchas plantas inyectan carbón en polvo, coque en polvo, petróleo (o algún combustóleo pesado) o gas natural. Desde finales de los años 1990 se han empezado a utilizar plástico de desecho reciclado por su bajo costo y su alto contenido de carbono (UBA, 1997).

Salida de arrabio y escoria

El alto horno es periódicamente “abierto”, para ello, una de las piqueras se abre mediante perforación o usando una barra, en algunos casos, se utiliza una lanza de oxígeno para abrirla, usualmente se tienen de 2 a 4 según la capacidad y se opera a un tiempo, la mitad (BREF, 2001a).

En altos hornos modernos, el arrabio y la escoria se reciben en el mismo recipiente, siendo la escoria la que sale al final, un crisol (en la zona de vertido o “cast house” debajo del alto horno) los recibe y ahí se separan, el arrabio se envía a los carros transportadores (carros torpedo) fluyendo a través de canales protegidos (o hechos) con material refractario, mientras que la escoria se envía por otros canales (igualmente resistentes al calor) a plantas de granulación, a cucharones de transporte de escoria o a un hoyo de contención abierto, toda la estructura está apoyada en ladrillo refractario ya que el material sale del alto horno a una temperatura de 1,440 hasta 1,650°C (AHMSA, 2012).

El ciclo se cierra al tapar la piqueta mecánicamente al inyectar un material refractario y resistente mecánicamente, éste por lo regular es una mezcla de arcillas y se le conoce como “mudgun”.

Procesamiento de la escoria

La cantidad y tipo de proceso de la escoria se determina por el tipo de mena de hierro, los fluidificantes y otros aditivos usados para producir el arrabio con la calidad necesaria. La escoria se puede utilizar como subproducto en varias aplicaciones, como insumo en la elaboración de cemento, construcción de caminos, como agregado de en el concreto y en la construcción, como material aislante (lana mineral) e incluso como sustituto del cemento, actualmente hay empresas siderúrgicas que han logrado la utilización total de la escoria, vendiéndola a empresas como las citadas anteriormente (BREF, 2001a).

Actualmente, existen 3 procesos de tratamiento de escorias de alto horno, los cuales son, (BREF, 2001a):

1. Proceso de granulación,
2. Proceso de hoyo de escoria,
3. Proceso de peletización de escoria.

Todos ellos, al enfriar la escoria pueden generar sulfuro de hidrógeno, que de menos se manifiesta con un olor característico.

La **granulación** es proceso el más común en la Unión Europea para procesar escoria de alto horno, básicamente consta de verter la escoria en una cabeza de granulación mediante un distribuidor de agua de alta presión. Posteriormente, la lechada se lleva a través de un sistema de drenado, se filtra, se le elimina la mayor parte del agua contenida, formando un sedimento sólido granulado (BREF, 2001a).

En el proceso **de hoyo** (slag pit), la escoria se distribuye en capas en una zona adyacente al horno, donde se enfrían y cristalizan lentamente al aire libre. Los hoyos son llenados y excavados de manera alternada, la escoria endurecida es triturada para usarse como agregado grueso. En la práctica, el tiempo de enfriamiento puede reducirse al rociar la escoria caliente con una cantidad controlada de agua aunque esto puede aumentar los olores desagradables en la zona. Si se hace adecuadamente, el total del agua de enfriamiento es evaporada en el proceso (BREF, 2001a).

Esta forma de manejar la escoria produce un agregado que sirve de materia prima para la construcción de caminos, el tiempo de enfriamiento tiene una influencia importante en la calidad. El agua de enfriamiento también mejora la micro estructura, logrando mejores propiedades mecánicas (BREF, 2001a).

El **proceso de peletización** es poco utilizado, la escoria fundida se distribuye en capas sobre una placa, que hace las veces de deflector, la capa de escoria es esquilada por chorros de agua a presión controlada que inician el enfriamiento y expansión del material. La escoria es proyectada centrífugamente al aire sobre un tambor rotatorio que completa el enfriamiento (y el salto). Las partículas de escoria

siguen diferentes trayectorias según su tamaño, que van desde arena granulada a pellets expandidos. Si se aplica correctamente, el agua usada en el proceso es totalmente consumida por la evaporación y como humedad en el producto, el consumo específico es menor al requerido para la granulación (BREF, 2001a).

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en un alto horno, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 10.1, 10.2 y 10.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a un estudio de 4 altos hornos de estados miembros de la Unión Europea) (BREF, 2001a).

Recuadro 10.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de un alto horno. (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de arrabio
Sinterizado ¹	720 a 1,480
Mena de hierro ¹	25 a 350
Pellets ¹	100 a 770
Coque ¹	280 a 410
Carbón ²	0 a 180
Aceite pesado ³	0 a 60
Cal	0 a 10
Materiales reciclados	2 a 8
Plástico ⁴	0 a 30

Nota 1: Dependiendo de las condiciones particulares del sitio.

Nota 2: En el caso de inyección de polvo de carbón, que cada vez es más frecuente se tienen 140 a 180kg de carbón por tonelada de arrabio.

Nota 3: En el caso de inyección de aceite pesado, se puede llegar a tasas de 140kg/ton de arrabio.

Nota 4: La inyección de plásticos para el momento del estudio era practicada solo por dos siderúrgicas.

El consumo de energía, oxígeno, vapor, aire comprimido y agua en un alto horno se muestra en el recuadro siguiente.

Recuadro 10.2. Intervalos de consumos de energía, oxígeno, vapor, aire comprimido y agua en un alto horno (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad	Valor
Gas de alto horno	MJ/ton de arrabio	1,050 a 2,700
Gas de coque	MJ/ton de arrabio	90 a 540
Gas natural	MJ/ton de arrabio	50 a 230
Electricidad	MJ/ton de arrabio	270 a 370
Oxígeno	m ³ /ton de arrabio	25 a 55
Vapor	MJ/ton de arrabio	22 a 30
Aire comprimido	M ³ /ton de arrabio	9 a 11
Agua	m ³ /ton de arrabio	0.8 a 50

Nota 5: Oxígeno adicional no siempre es requerido, particularmente bajo la zona de tuyères este valor puede ser cero, que no es el caso de los altos hornos estudiados.

Adicionalmente se producen, de 4,400 a 5,000MJ/ton de arrabio de gas de alto horno y aproximadamente 750MJ/ton de arrabio de energía eléctrica (con turbina de gas).

IMPACTO AMBIENTAL DEL ALTO HORNO

El principal impacto ambiental del alto horno, son las emisiones de gases, partículas a la atmósfera y la generación de escoria, los cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios de 4 altos hornos en estados miembros de la Unión Europea.

Recuadro 10.3. Intervalos de composición de emisiones de gases de altos hornos, estas no incluyen la combustión del gas de alto horno (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ⁸	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	10 a 50
Mn	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.13
Ni	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.02
Pb	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.12
SOx	g/ton de acero líquido	20 a 230
NOx	g/ton de acero líquido	30 a 120
H ₂ S	g/ton de acero líquido	0.2 a 20
CO	g/ton de acero líquido	770 a 1,750
CO ₂	g/ton de acero líquido	280 a 500
Dioxinas y furanos ¹⁰	µg I-TEQ/ton de acero líquido	<0.001 a 0.004

Nota 8: El factor de conversión usado (promedio ponderado en todos los altos hornos de la unión europea) es de 940kg de arrabio por tonelada de acero líquido (acero crudo).

Nota 9: Puede ser mayor en el caso de usar materias primas con alto contenido de sal.

Nota 10: Las Naciones Unidas consideran como factor de emisión de dioxinas y furanos para altos hornos con sistemas de control de emisiones un valor de 0.01µ I-TEQ/ton de acero líquido aunque acepta y reconoce lo publicado por los documentos de la unión europea en casos de "buenos sistemas de control". Para mayores detalles y explicación se recomienda revisar la fuente de esta información (PNUMA, 2005).

Adicionalmente también se producen de 200 a 290kg de escorias, de 6 a 16kg de polvo (en el gas de alto horno), de 3 a 5kg de lodos (derivados del proceso del gas de alto horno), de 0.5 a 1.5kg de polvos de la operación de evacuación y remoción de escorias y natas, de 14 a 25kg de cascajo y de 0.1 a 3.3m³ de agua de desecho, todo por tonelada de acero líquido (crudo) producido (BREF, 2001a).

Las escorias se utilizan como subproducto, muchos de los polvos recolectados son reciclados en la planta de sinterizado, cuya cantidad depende de la eficiencia de los sistemas de disminución de emisiones.

Las **emisiones de agua de desecho** son variadas y dependen del proceso que provengan (que puede variar).

El sobrenadante del agua de purificación de gas de alto horno contiene contaminantes presentes en él (metales, pequeñas cantidades cianuros etc.) normalmente es tratado, al menos para eliminar la DQO y parte de los metales pesados que pueda tener, antes de ser desechado y en plantas actuales, por lo general se recicla. El volumen manejado es de 0.1 a 3.5m³/ton de arrabio, siendo el volumen alto para el caso de tener materias primas con alto contenido de sales (BREF, 2001a). Puede haber dioxinas y furanos en estas descargas aunque no se

cuenta con información suficiente al respecto (PNUMA, 2005).

El agua de desecho de la granulación de escoria va de 0.125 a 10m³/ton de arrabio, esta agua contiene metales pesados, el siguiente recuadro muestra valores usados como factores de emisión en la Unión Europea, provenientes de una planta alemana, (BREF, 2001a).

Recuadro 11. Valores de emisión del agua de desecho de una planta de granulación de escoria (BREF, 2001a)

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo típico	1.96	m ³ /ton
Pb	3.92	mg/ton de arrabio
Cr	3.92	mg/ton de arrabio
Cu	8.232	mg/ton de arrabio
Zn	39.2	mg/ton de arrabio
Ni	5.88	mg/ton de arrabio
COT	8.036	g/ton de arrabio
DQO	39.788	g/ton de arrabio

ELABORACIÓN DE ACERO VÍA HORNO BÁSICO DE OXÍGENO

Desde el inicio, Henry Bessemer sugirió el reemplazo del aire por el de oxígeno puro, cosa que en su época no se hizo, al menos industrialmente, fue hasta 1950 que se empezó a hacer el reemplazo, independientemente del proceso específico de producción utilizado. El prerrequisito indispensable para lograr este cambio fue la disponibilidad de este insumo en cantidad suficiente y precio accesible, así como la tecnología de “lanza de agua de enfriamiento” necesaria para la introducción de oxígeno en el hierro fundido (Ullmann, 1994).

El proceso actual, es una versión refinada y significativamente mejorada del convertidor Bessemer. Fue desarrollado por el ingeniero suizo Robert Durrer y comercializado por dos pequeñas compañías de acero de esa época, la VOEST y la ÖAMG, nombrado originalmente “convertidor LD”, por los poblados de Linz y de Donawitz. El proceso llevado a cabo dentro de él se denominó “básico” por pH de las sustancias refractarias utilizadas, como el óxido de calcio y el óxido de magnesio, lo que le permite resistir adecuadamente las altas temperaturas de la carga (Ullmann, 1994).

El primer horno básico de oxígeno a escala industrial (también llamado “convertidor de oxígeno”) fue en la ciudad de Linz en 1953. El BOF (Basic Oxygen Furnace) y el de horno de arco eléctrico (Electric Arc Furnace o EAF) han reemplazado, desde entonces, a otros hornos y procesos para elaborar acero, como el de Thomas o el de “hogar abierto” (Bessemer- Siemens-Martin) por ser más eficientes y requerir de menos energía en comparación. En la Unión Europea, los últimos procesos con hornos Bessemer y Siemens-Martin fueron sacados de operación en 1993, dejando

estos dos (BOF y EAF) como los únicos hornos usados para fabricar acero. En el BOF se hace alrededor de las dos terceras partes de la producción total y el EAF la tercera restante (Ullmann, 1994).

Hornos modernos son capaces de convertir 350 toneladas de arrabio en acero en aproximadamente 40 minutos o menos, comparadas con las 10 a 12 horas que demoran los hornos de hogar abierto que se utilizaron (Ullmann, 1994).

La siguiente figura muestra un esquema general de fabricación de acero mediante el uso del BOF.

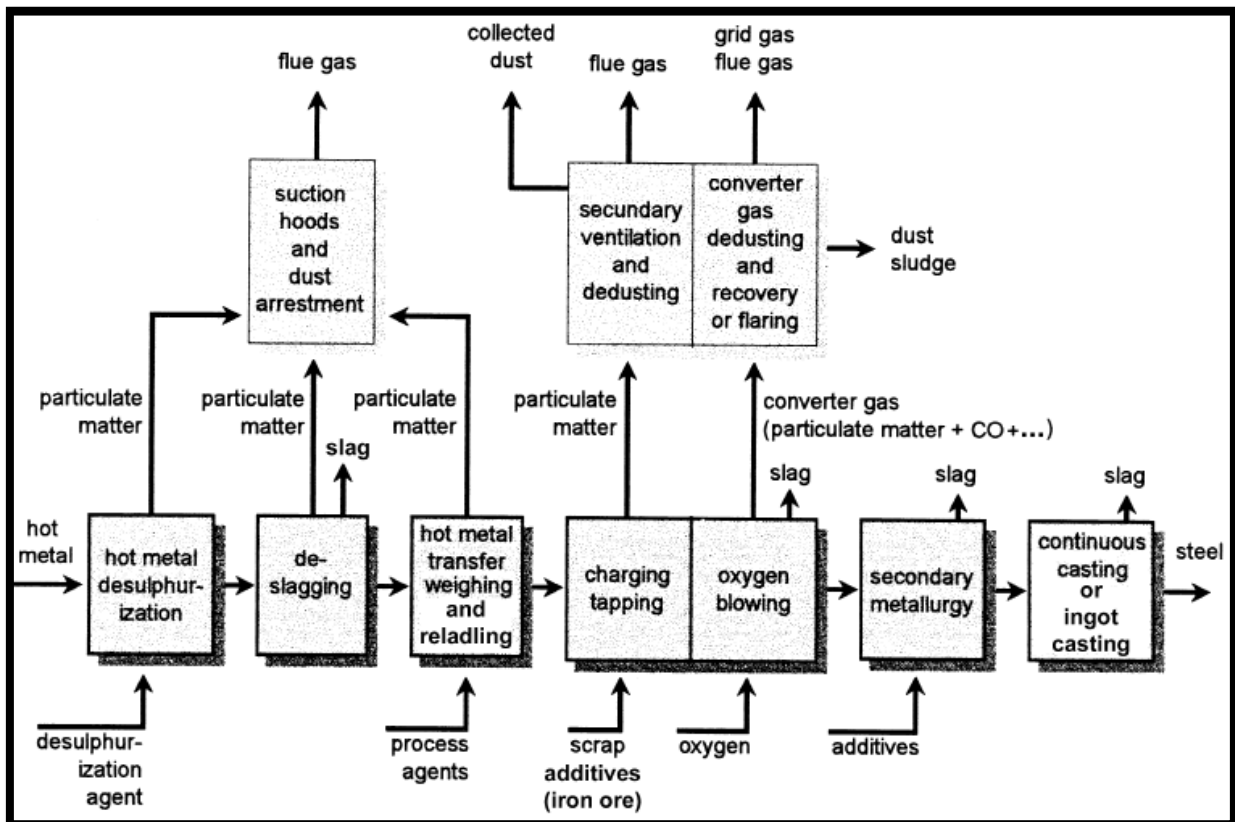


Figura 17. Secuencia de fabricación de acero por horno básico de oxígeno, indicando las fuentes de emisión de contaminantes (BREF, 2001a)

El objetivo de aplicar oxígeno en la elaboración de acero es oxidar las impurezas contenidas en el metal líquido, los elementos principales que se eliminan con esta técnica son el C, Si, Mn, P y S. El propósito principal de este proceso es (BREF, 2001a):

1. Reducir el contenido de carbono hasta el nivel de especificaciones (del 4% aproximadamente a menos del 1%),
2. Ajustar el contenido de otros elementos,
3. Remover el contenido de impurezas hasta donde sea posible.

La producción de acero mediante el BOF es un proceso discontinuo que involucra las siguientes etapas (BREF, 2001a):

1. El almacenamiento y transporte del metal caliente,
2. Pretratamiento del metal,
3. Oxidación en el BOF que incluye la descarburización y oxidación de impurezas,
4. Metalurgia secundaria.

Almacenamiento y transferencia del metal caliente

El metal caliente, líquido, es provisto por el alto horno mediante carros de transferencia o cucharas, en ambos casos, estos equipos están protegidos por ladrillos de corundum, mulita, bauxita o dolomita con una capa interna adicional aislante entre el acero (líquido) y el material refractario. Los carros transportadores (llamados torpedo por su forma) se mueve sobre rieles, es el sistema predominante. Para llevar su contenido, se rotan, llevando en cada viaje entre 100 y 400 toneladas. El diseño de estos carros minimiza la pérdida de energía, lo que elimina la necesidad de un sistema de almacenamiento intermedio adicional (BREF, 2001a).

La vida útil de un carro transportador varía entre 150,000 y 400,000 toneladas acarreadas, la desulfuración, llevada a cabo en el carro, disminuye su utilización entre cargas y requiere de una selección más cuidadosa de los materiales refractarios (BREF, 2001a).

Algunas siderúrgicas utilizan mezcladores. Que son contenedores horizontales protegidos con ladrillos refractarios. Sirven para compensar la fluctuación en la producción del alto horno, para homogenizar la composición química de la mezcla, sobre todo si proviene de varios altos hornos y para homogenizar la temperatura. Los mezcladores modernos tienen capacidad de hasta 2,000 toneladas (BREF, 2001a).

Pretratamiento del metal

El pretratamiento clásico aplicado al arrabio incluye las siguientes etapas (BREF, 2001a):

1. Desulfuración,
2. Defosforación,
3. Desiliciación.

Por lo regular, la desulfuración es la etapa de tratamiento aplicada previa al BOF, la defosforación y desiliciación involucra procesos costosos y sofisticados que actualmente son poco deseados (BREF, 2001a).

La metalurgia mejorada en el alto horno y la reducción en la cantidad de azufre introducido en agentes reductores ha resultado en la disminución de los niveles de este elemento en el metal líquido. Actualmente la especificación de nivel de azufre (concentración) en la carga del BOF es entre 0.001 y 0.020%, ésta se logra

actualmente en una instalación de desulfuración separada del alto horno, lo que implica beneficios en términos de protección ambiental. Con la reducción del contenido de azufre (de la alimentación) del alto horno, se reduce también el consumo de coque y sinterizado, se reduce la cantidad de escoria generada, se mejora la calidad de ésta (pensando en otros usos), se prolonga la vida de los materiales refractarios y se reduce el consumo de oxígeno (BREF, 2001a).

Los agentes desulfuradores más comunes son el carburo de calcio, sosa cáustica, ceniza alcalina de sodio, cal y materiales impregnados con magnesio. La desulfuración con sodio es un proceso directo dado el bajo punto de fusión y la gran miscibilidad del producto (desulfurador) con el metal caliente. Sus deficiencias incluyen la baja especificidad y la necesidad de una “ruta” de disposición de la escoria producida. El contenido de azufre en estas escorias varía entre el 1 y 15% (en peso) y el contenido de Na_2O entre el 5 y 40% (en peso) según el proceso particular empleado. El reciclaje de la escoria de sodio dentro de la siderúrgica es impráctico por su alta alcalinidad. Una alternativa de reciclaje eficiente y a bajo costo aun no está disponible. Cuando se desecha, el sulfato de sodio se descompone, en presencia de agua, generando hidróxido de sodio y sulfuro de hidrógeno. El uso de ceniza de sodio actualmente restringido a cantidades pequeñas durante la eliminación de escoria (desnatado) (Ashby, y otros, 1992).

La desulfuración con carburo de calcio (CaC_2) es la más común (al menos en Europa), ya que es mucho mejor en términos ambientales. El uso de una mezcla de carburo de calcio, magnesio y cal permite al metal caliente tener niveles por debajo del 0.001% de azufre sin importar el nivel inicial. Las desventajas radican en el agotamiento del agente desulfurador (mayor consumo de éste) y la necesidad de un mezclado intenso. La escoria producida es fácilmente separable. El uso de magnesio adicional al carburo de calcio es también frecuente. Otros agentes incluyen el polvo de cal, cal junto con gas natural y magnesio (Ashby, y otros, 1992).

El proceso de desulfuración se puede llevar a cabo con una serie de métodos y sistemas, de entre los cuales, los más comunes son (BREF, 2001a):

1. En el “launder” del alto horno,
2. En la corriente de vaciado,
3. En el carro o cuchara transportadora (hacia el BOF),
4. En un contenedor diseñado específicamente para esta operación.

El equipo de desulfuración incluye una lanza de inmersión, la cuchara de sifón, el tanque rotatorio y oscilatorio, equipo de agitación para uso y aplicación en la cuchara. El carburo de calcio es utilizado frecuentemente junto con la lanza de inmersión y el método de mezclado. El magnesio es añadido en forma de polvo dentro de una corriente de gas inyectada por la lanza de inmersión. Los equipos y procesos citados son propios de una planta separada de pretratamiento (BREF, 2001a).

Como ejemplo de operación se puede considerar el siguiente: el agente de desulfuración es “soplado” a través de la lanza en el seno del metal caliente,

propulsado con nitrógeno. El azufre es entonces llevado a la superficie formando la escoria, la cual flota en la superficie y posteriormente es removida en la unidad de separación, mientras que el metal líquido es alimentado al contenedor empotrado en el suelo para pesarlo (weighting pit). De ser necesario, otros insumos de proceso se le adicionan en estos “hoyos”. En algunos casos, una segunda remoción de escoria se hace en ellos también, usando raspadores de escoria (slag scrapers). Después de determinar el peso del material, el arrabio pretratado, es llevado al convertidor (BOF) y cargado, por lo general, después de que chatarra, previamente seleccionada e incluso pretratada, es cargada al convertido (BREF, 2001a).

La oxidación en el BOF

Para lograr los objetivos mencionados anteriormente, las impurezas son oxidadas con la remoción posterior de las escorias y el gas de rechazo. La energía requerida para alcanzar las temperaturas y fundir los materiales se suministra por las reacciones exotérmicas, por lo que no se necesita una fuente adicional de energía, por otro lado, se necesita adicionar mena o chatarra (adecuada) para balancear la carga de energía. Algunos BOFs están equipados con un sistema de inyección de gas (como las “tuyères” del alto horno) que actúa como enfriador. Uno de los más usados es el gas natural (BREF, 2001a).

Las reacciones químicas principales que ocurren en un BOF son las siguientes (BREF, 2001a), (Kucher, 1989):

1. Eliminación de carbón: $[C] + [O] \longrightarrow CO_g$
 $[CO] + [O] \longrightarrow CO_{2g}$
2. Desiliciación: $[Si] + 2[O] + 2(CaO) \longrightarrow 2(CaO \cdot SiO_2)$
3. Eliminación de Mn: $[Mn] + [O] \longrightarrow (MnO)$
4. Defosforación: $2[P] + 5[O] + 3[CaO] \longrightarrow (3CaO \cdot P_2O_5)$
5. Desulfuración: $[S] + [CaO] \longrightarrow (CaS) + [O]$
6. Remoción de O₂ residual: $[Si] + 2[O] \longrightarrow (SiO_2)$
7. Remoción de Al: $2[Al] + 3[O] \longrightarrow (Al_2O_3)$

Nota: [] indica que la molécula está como soluto, disuelta en el metal fundido (que en este caso es “Fe”), mientras que () indica que se la molécula forma una fase distinta que posteriormente integrará la escoria.

Nota 2: Todas las reacciones son reversibles aunque se favorece el sentido mostrado en las condiciones predominantes en el BOF.

Las reacciones de oxidación son exotérmicas, por lo que aumentan la temperatura de la masa fundida, la adición de chatarra y de enfriadores ayuda a mantener la temperatura entre 1,600 a 1,650°C. Usualmente, entre un 10 a 20% (en peso) de la carga del BOF es chatarra, pero este valor puede llegar a ser hasta del 40% en algunos casos. La cantidad de chatarra cargada depende del pretratamiento dado al arrabio y del balance de energía de la carga del BOF. Las variaciones del precio de la chatarra y las especificaciones del producto final también son factores que influyen

(UBA, 1997).

La operación del BOF es semi continua, el ciclo completo consiste en la carga de la chatarra o mena adicional, la carga del arrabio pretratado, inyección de oxígeno, muestreo de material para determinar composición y balance térmico. En una siderúrgica actual, un BOF procesa 300 toneladas de acero en 30 a 40 minutos. Durante este proceso, se adicionan una serie de aditivos para hacer que la mezcla esté dentro de especificaciones (de ahí la necesidad de tomar muestras). Durante la carga y apisonado (ligero) de materiales en el horno, éste está inclinado, durante la inyección de oxígeno, el convertidor es colocado en posición vertical y protegido por materiales refractarios que se cierran alrededor de éste (AHMSA, 2012), (BREF, 2001a).

Existen varios tipos de convertidores utilizados en la elaboración de acero vía oxígeno básico. El más común es el LD (Linz-Donawitz) usado para arrabio con bajo contenido de fósforo, para el caso de alto contenido de fósforo se prefiere un proceso modificado como el LD/AC (Linz-Donawitz/arbed-CRM-process). El convertidor en todos los casos, tiene una forma de “pera” y está alineado (protegido) con material refractario, la lanza de inyección utilizada cuenta con un sistema de refrigeración por agua, el oxígeno utilizado actualmente es de alta pureza (>99%) y proviene de plantas destiladoras de aire, mismas que muchas veces forman parte de la siderúrgica (integrada) (BREF, 2001a).

Otros tipos de convertidores (referidos en la literatura también como “reactores”) son el OBM (Oxygen Bottom Maxhutte process) o Q-BOP y el LWS (Loire-Wendel-Sprunch process). Estos difieren del convertidor LD en que, en vez de utilizar una lanza de inyección retráctil accionada desde la parte superior, utilizan un sistema de tuyères sumergidas en el metal fundido, localizadas en el fondo. Para poder operar, éstas son refrigeradas con hidrocarburos que también son inyectados al metal caliente. Existen también equipos que tienen ambos dispositivos (BREF, 2001a).

Cuando es necesario, el proceso puede ser realizado y mejorado con un sistema de mezclado desde el fondo, utilizando Ar (argón) o nitrógeno (N_2) a través de ladrillos porosos en el fondo. Como alternativa se puede disponer de tuyères para inyectar estos gases o una mezcla de éstos con oxígeno. Esto produce una circulación más intensa de la masa fundida de acero, mejorando el avance de las reacciones químicas deseadas ya descritas. Los tipos más frecuentes de convertidores de este tipo son el LBE (Lance-Bubbling-Equilibrium process) y el TBM (Thyssen-Blowing-Metallurgy process). Una versión especial es el KMS (Klöckner-Maxhütte-Steel making process) en el cual, el oxígeno es inyectado desde el fondo junto con cal y carbón. El consumo de oxígeno depende de la composición del arrabio (contenido de C, Si, P, etc.) (BREF, 2001a).

El progreso del proceso llevado a cabo se monitorea mediante la toma de muestras del metal fundido, en siderúrgicas actuales, esto se hace sin interrumpir la inyección de oxígeno, usando una lanza adicional. El mismo resultado se obtiene al estandarizar los procesos y procedimientos y/o usando técnicas de modelado y

monitoreo. Estas prácticas mantienen la calidad, productividad y reducen las emisiones durante la operación del convertidor, incluyendo sus fluctuaciones características (ajustes, cambios etc.). Cuando el acero líquido tiene las características deseadas, la inyección de oxígeno se detiene y el acero crudo es vaciado en un horno de cuchara y llevado a la unidad de metalúrgica secundaria o a la unidad de colada continua (BREF, 2001a).

Los gases producidos durante la operación, contienen grandes cantidades de monóxido de carbono. En muchas siderúrgicas actuales, se han tomado medidas para recuperar este gas y utilizarlo como fuente de energía. Sistemas de “combustión abierta” y “suprimida” son utilizados para este fin. Los sistemas de combustión abierta llevan aire dentro al ducto de gas de desecho del convertidor (o gas de BOF) para que se lleve a cabo la combustión con el CO caliente, el calor generado es recuperado en un calentador para producir electricidad, generar vapor etc. En los sistemas de combustión suprimida, una chaqueta se baja a la boca del convertidor durante la inyección de oxígeno para impedir que el oxígeno del ambiente se mezcle con el gas que sale del convertidor y evitar la combustión durante esta etapa. El gas de BOF, rico en CO se colecta, se limpia (de partículas suspendidas, ácidos) y se guarda para usarse posteriormente. La principal ventaja de este sistema es que se manejan flujos más pequeños de gas, lo que ayuda a acelerar el proceso de inyección de oxígeno en el convertidor y permite un uso del gas de BOF más diverso (BREF, 2001a).

Metalurgia secundaria

Cuando es necesario, el material que sale del BOF se lleva a una serie de postratamientos que incluyen una diversa gama de operaciones metalúrgicas que en conjunto son referidas como “metalurgia secundaria”, estos tratamientos fueron desarrollados para poder producir los diversos productos de acero con las especificaciones, cada vez más exigentes de la actualidad. Esto ha llevado a que dichas operaciones de afinado del metal, se hagan en instalaciones separadas del convertidor, lo que permite un mayor control y detalle de éstas para hacer productos mejores con eficiencia y un menor costo. De forma general, los objetivos de la metalurgia secundaria son (BREF, 2001a):

1. Mejorar el grado de mezclado y homogenización de la mezcla,
2. Ajustar (afinar) las composiciones químicas de una manera más fina a las tolerancias,
3. Ajustar la temperatura en tiempo para el proceso de colada posterior,
4. Deoxidación,
5. Remover restos de gases como el hidrógeno y nitrógeno,
6. Separar las inclusiones no metálicas.

La siguiente figura muestra una vista general de los procesos de metalurgia secundaria, llevados a cabo en cucharas, hornos de cuchara, en sistemas de vacío o en instalaciones más especializadas que cuentan con hornos especialmente diseñados.


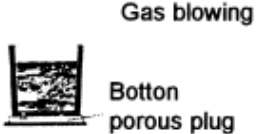

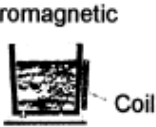
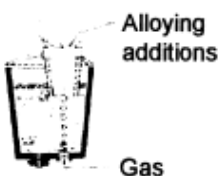

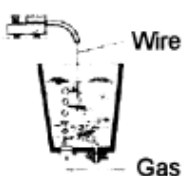
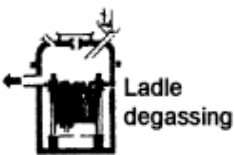



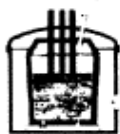
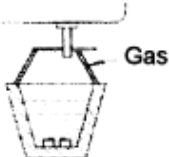

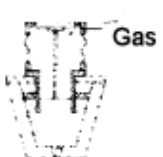
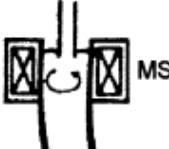


Avoiding slag-overflow	
Mixing/Homogenizing /Additives	  
Injection of solid substances	  
Vacuum-Treatment	  
Heating	 
Pouring stream protection ladle/tundish	  
Electromagnetic stirring linked with continuous casting	  

Figura 18. Panorama general de los principales procesos que se consideran dentro de la metalurgia secundaria en la elaboración de acero, tomada de (BREF, 2001a)

De los anteriores, el tratamiento de vacío es el que tiene mayor relevancia (para el alcance de este documento), sirve principalmente para remover gases como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y concentraciones residuales de carbono del acero a una presión de vacío de hasta 50Pa. El propósito de esta operación es la descarburización y la liberación de gases del acero fundido, disminuyendo las concentraciones de oxígeno y nitrógeno en el seno del material hasta 0.0002% y 0.0005% respectivamente al reducir la presión hasta 10mbar. Actualmente, el

tratamiento de vacío incluye la descarburización y deoxidación precisa de aceros no aleados, de grados de acero cromado, la remoción de sulfuro e inclusiones, así como la adición de aleantes, homogenización de composición y temperatura, manejo y reoxidación, permitiendo obtener productos de una calidad significativamente mejor, con (mucho) menor contenido de gases y con mucho mayor apego a especificaciones mucho más exigentes (BREF, 2001a).

En la industria actual, se utilizan principalmente los siguientes métodos de tratamiento de vacío, siendo el segundo el más usado (BREF, 2001a):

1. Desgasado en cuchara u horno de cuchara o tanque especial para desgasado,
2. Desgasado recirculante.

En el desgasado la cuchara que contiene el metal proveniente del BOF se coloca en un contenedor que es llevado a presiones de vacío. La adición de energía asegura mayores velocidades de reacción (reacciones como las antes explicadas) y reduce la concentración final de productos gaseosos y otros aditivos como el gas de agitación (generalmente Ar), que se hace través de conexiones o ladrillos porosos en el fondo del horno de cuchara o cuchara. Otras formas de agitar y homogenizar son la inyección por medio de lanza o vía inductiva (BREF, 2001a).

Dependiendo de los requerimientos particulares de cada caso, se puede añadir chatarra de alto contenido de hierro (Fe) como agente de enfriamiento para ajustar la temperatura de la masa fundida o para introducir agentes que afinan la composición del acero (ajuste preciso). Los agentes aleantes son añadidos como sólidos, o contenidos en un conducto hueco que es desenrollado de un carrete, o como polvo inyectado vía lanzas. Antes de que termine el ciclo de agitación, el nivel de oxígeno se determina con una sonda especial y es ajustado con la adición de deoxidantes. A través de todo el proceso, el polvo y gas que sale de la cuchara es sacado por una campana movable (BREF, 2001a).

En el tratamiento de vacío recirculante, el metal fundido es tratado sometido a vacío de forma continua o en porciones. Dependiendo del diseño del proceso, se tienen sistemas DH (Vacuum lift degassing) o RH (Recirculating Desassing) principalmente (BREF, 2001a).

El tratamiento de vacío es una consideración importante en el diseño de la planta de tratamiento de aguas, ya que el vacío se genera por medio de un proceso basado en corrientes de agua y vapor. Los sistemas pequeños utilizan bombas de aro de agua (water ring pumps), instalaciones mayores utilizan bombas de chorro de vacío multietapas (multi-stage jet vacuum pumps). El flujo de agua necesario para la evacuación de gases es considerable y puede alcanzar valores de $5\text{m}^3/\text{ton}$ de acero líquido.

Colada

Una vez que las características deseadas (finales) son alcanzadas, el acero es

llevado en una cuchara de fundición hacia la máquina de colada continua, en donde el acero es moldeado. Por lo general el producto es una plancha continua de acero que posteriormente es cortada, también se puede hacer la colada en moldes para hacer piezas concretas (se puede ver más detalle en la subsección de este documento “Fundición y moldeo de hierro y acero”).

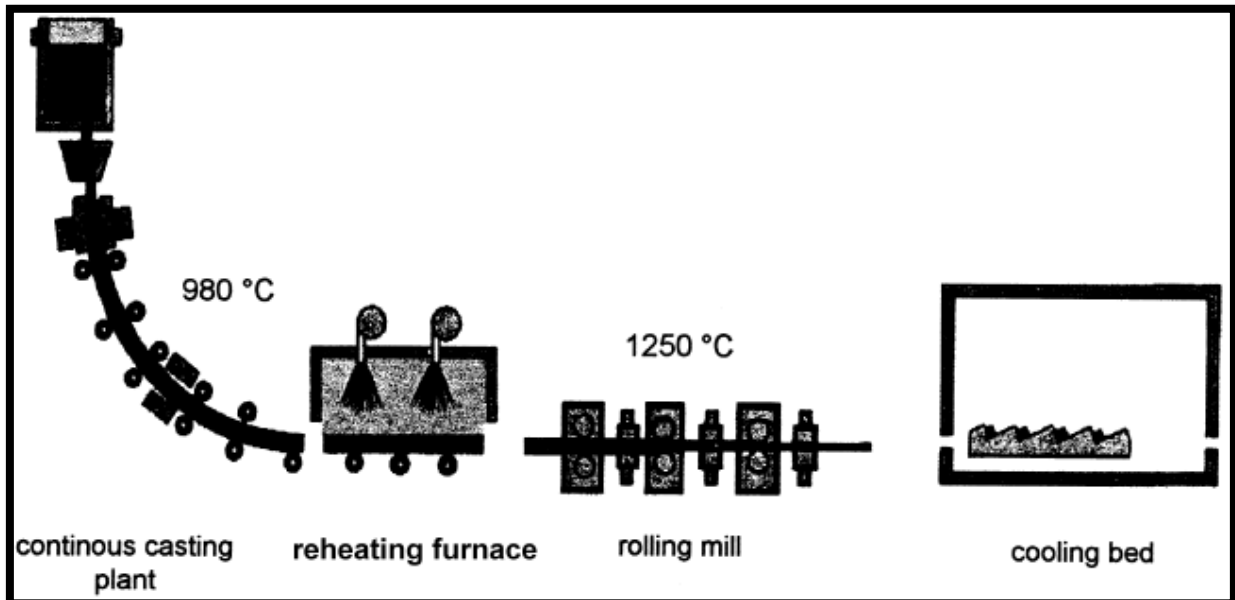


Figura 19. Esquema de un equipo de colada continua con horno de empapado y molino de rodado en caliente, tomado de (BREF, 2001a)

La colada continua ofrece varias ventajas respecto a la colada estática (BREF, 2001a).

1. Ahorro de energía, que son correspondientes con reducciones de emisiones de gases de combustión y reducción en el consumo de agua dada la eliminación de molinos con agua de empapado y de “billets”,
2. Mejoras en las condiciones de trabajo,
3. Alta productividad,
4. Mayor tasa de aprovechamiento de la materia prima (acero líquido).

La colada continua fue introducida a gran escala a finales de los años 1960, en Europa está presente en más del 95% de las instalaciones, en los Estados Unidos de América el porcentaje es todavía mayor, en el mundo está presente al menos en el 75%. Además de la colada tradicional para hacer lingotes, la colada continúa también aún reemplazado las operaciones de soplado, empapado y semiterminado convencional de los molinos en caliente. Hoy en día, prácticamente todos los grados de acero para productos rodados pueden ser manejados por el sistema de colada continua, dado que las condiciones necesarias, como la eliminación de gases, son provistas por la metalurgia secundaria moderna. Existen varios tipo de máquinas de colada continua (casters) conocidos como de tipo vertical, de arco, de arco oval, doblado-recto entre otros, según su configuración (BREF, 2001a).

El acero líquido es vaciado del convertidor en un horno de cuchara, llevado a la sección de metalurgia secundaria (si es el caso) y luego llevado hacia el llamado “embudo de fundición” de la máquina continua de colada (Continuos Casting Machine o CCM), este embudo es un intermediario con un dispositivo de salida controlada, la máquina esta precalentada antes de recibir el material fundido para evitar la estratificación (BREF, 2001a).

Del embudo de fundición, el acero pasa por un molde de cobre, enfriado por agua, en el cual no hay aire presente, éste realiza un movimiento oscilatorio hacia arriba y hacia abajo para evitar que el acero se pegue. El molde da al metal la forma deseada. Cuando el metal abandona el molde de colada, una capa de acero solidificado se forma en la pieza, manteniéndola con una forma definida mientras una serie de rodillos lo conducen hacia una posición horizontal. Ahí, la pieza sin fin de acero es cortada en piezas con cortadores de antorcha, el planchón, losas y placas son hechos de esta manera.

Para el caso de secciones que no pueden sostenerse a sí mismas, la plancha continua todavía en rojo, con su superficie solidificada, se envía a través de una serie de pares de rodillos que le ayudan a esta coraza a mantenerse contra la presión del material interior. Mientras que el centro de la pieza se mantiene líquido, se rocía agua atomizada en la superficie con hasta que la pieza se solidifica totalmente, cuidando de no causar efectos no deseados en la pieza (BREF, 2001a).

El proceso evita rupturas en la superficie solidificada de la pieza, que es aún muy delgada y protege a los rodillos del sobrecalentamiento, que además tienen agua de enfriamiento interna. En la zona secundaria de enfriamiento, ya no hace falta el enfriamiento interno aunque la adición de agua externa (rocío) se mantiene hasta que la pieza continua se enfría por completo. Estas máquinas utilizan un sistema de lubricación a base de grasa y aceites que las mantienen funcionando adecuadamente (generando residuos de estos materiales) (BREF, 2001a).

Una vez que ocurre esto, la pieza se puede cortar por cortadores de antorcha. El rápido enfriamiento de la pieza de acero, da una microestructura uniforme que favorece las propiedades buscadas en él (BREF, 2001a)

La forma de la pieza continua es determinada por el molde utilizado, las formas comunes son la rectangular, cuadrada, redonda o poligonal. Para la producción de piezas con una forma determinada, se acostumbra utilizar moldes que se parezcan a la forma final para minimizar la necesidad de cortes y ajustes posteriores. Las dimensiones típicas de la pieza continua varían entre 80x80mm y 310x310mm, 600mm (pieza redonda) en billet y 450x650mm en pieza para rolado, dependiendo de la máquina de colada continua se pueden manejar uno o más líneas continuas, por ejemplo, los de billet pueden manejar hasta 8 piezas continuas a la vez, (BREF, 2001a).

Colada de lingotes

En este caso, el material líquido se introduce en moldes de lingotes. Según la calidad de la superficie deseada, se añaden agentes de desgasado (como el NaF) al material ya que éste se encuentra en el molde. Después de que se enfrían, los lingotes son sacados del molde y llevados a los molinos de laminado en caliente. En muchas siderúrgicas actuales, este sistema ha sido reemplazado por el de colada continua y se espera que sea completamente sustituido pronto con excepción de los productos que requieren de este proceso para alcanzar el nivel de calidad que necesitan, como por ejemplo, la producción de perfiles pesados para forja (BREF, 2001a).

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en el proceso de elaboración de acero vía BOF, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 12.1, 12.2 y 12.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a un estudio de 4 siderúrgicas que utilizan la vía descrita anteriormente, localizadas en estados miembros de la Unión Europea) (BREF, 2001a).

Recuadro 12.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de la elaboración de acero vía BOF, (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de acero líquido³
Arrabio	820 a 980
Chatarra	170 a 255
Mena de hierro	7 a 20
Otros materiales con Fe abundante	7 a 10
Coque	0.02 a 0.48
Cal	30 a 55
Dolomita	1.5 a 4
aleantes	3 a 9

Nota 1: El metal líquido caliente con alto fósforo contiene de 1.5 a 2.2% de P, el metal caliente de bajo fosforo contiene de 0.08 a 0.25% de P.

Nota 2: Las adiciones aleaciones típicas y más importantes son Fe-Ti, Fe-W, Fe-Ni, Fe-V, Fe-Si y Fe-Mo.

Nota 3: Este acero líquido es el que forma parte de productos como planchones, tochos, etc.

El consumo de oxígeno, gas natural, electricidad, vapor, aire comprimido y agua en un convertidor de oxígeno se muestra en el recuadro siguiente.

Recuadro 12.2. Intervalos de consumos de energía, oxígeno, vapor, aire comprimido y agua en un BOF (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad³	Valor
Oxígeno	m ³ /ton de acero líquido	45 a 55
Gas natural	MJ/ton de acero líquido	20 a 55
Electricidad	m ³ /ton de acero líquido	38 a 120
Vapor	m ³ /ton de acero líquido	30 a 140
Aire comprimido	Nm ³ /ton de acero líquido	4 a 18
Agua	m ³ /ton de acero líquido	0.4 a 5

Nota 3: Este acero líquido es el que forma parte de productos como planchones, tochos, etc.

Adicionalmente se producen de 650 a 840 MJ de gas de BOF o de 20 a 270MJ de vapor. Todo por tonelada de acero líquido en productos. Si no se cuenta con sistemas de recuperación de energía estos valores son cero. En el caso del vapor, se toma el valor alto en caso de sistemas de combustión directa no suprimidos y recuperación de calor para producir vapor, estos valores son cero en el caso si no se recupera el gas de BOF o se hace para un uso distinto (BREF, 2001a).

También se consume combustible para precalentar y secar los convertidores (BOFs) después de repararlos y volver a forrarlos. El consumo de energía de estas operaciones representa aproximadamente 0.051GJ/ton de acero líquido (en productos). El consumo de electricidad se estima en 23kWh/ton de acero líquido (en productos), equivalente a 0.08GJ/ton de acero líquido en productos, los gases de combustión producidos contienen grandes cantidades de CO, que es aprovechado para recuperar energía. Haciendo el balance de ésta, el BOF termina produciendo en esta fase de su operación, hasta 0.7GJ/ton de acero líquido (en productos) (BREF, 2001a).

Durante la colada continua, el precalentamiento de la cuchara que contiene al acero líquido se estima en un consumo de 0.02GJ/ton de acero líquido (en productos), el consumo de energía eléctrica en las máquinas se estima en 0.04GJ/ton de acero líquido (en productos) (BREF, 2001a).

IMPACTO AMBIENTAL DE LA ELABORACIÓN DE ACERO VÍA HORNO BÁSICO DE OXÍGENO

El principal impacto ambiental de esta vía de elaboración de acero son las emisiones de gases, partículas a la atmosfera y la generación de escoria, los cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios de 4 altos hornos en estados miembros de la Unión Europea) (BREF, 2001a).

Recuadro 12.3. Intervalos de composición de emisiones de gases durante la elaboración de acero, vía BOF, estas no incluyen la combustión del gas de BOF (BREF, 2001a)

Salida	Unidad³	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	15 a 80
Cr	g/ton de acero líquido	0.01 a 0.36 ⁶
Cu	g/ton de acero líquido	0.01 a 0.04 ⁶
Pb	g/ton de acero líquido	0.13 a 0.9 ⁶
Mn	g/ton de acero líquido	<0.01 a 1.2 ⁶
NOx	g/ton de acero líquido	5 a 20
CO	g/ton de acero líquido	1500 a 7960
CO ₂	kg/ton de acero líquido	11.2 a 140 ⁷
Compuestos aromáticos policíclicos	mg/ton de acero líquido	0.08 a 0.16 ⁸
Dioxinas y furanos ^a	µg I-TEQ/ton de acero líquido	0.001 a 0.06

Nota 3: Este acero líquido es el que forma parte de productos como planchones, tochos, etc.

Nota a: Las Naciones Unidas proponen un factor de emisión de 0.1µg I-TEQ/ton de acero líquido, usando chatarra muy limpia y/o hierro virgen con hornos con sistemas de control de emisiones y horno de diseño de bajas emisiones, 3µg I-TEQ/ton de acero líquido se usa chatarra limpia, con poscombustión y filtros de tela y hasta 10µg I-TEQ/ton de acero líquido si se usa chatarra sucia con precalentamiento y controles limitados (PNUMA, 2005).

La generación de residuos sólidos y subproductos de la elaboración de acero vía BOF se resumen en el recuadro siguiente:

Recuadro 13. Resumen de residuos sólidos o subproductos generados a partir de la elaboración de acero vía BOF (BREF, 2001a)

Residuo o subproducto sólido	Cantidad producida kg/ton de acero líquido
Escoria de desulfuración	2 a 25
Escoria de BOF	100 a 130
Material perdido en operación (spittings)	4 a 10
Polvos gruesos y lodos del tratamiento del gas de BOF	3 a 12
Polvos finos y lodos del tratamiento del gas de BOF	9 a 15
Polvos capturados	0.2 a 3
Escoria de metalurgia secundaria	2 a 16
Escoria de colada continua	4 a 5
Residuos de colada continua	1.2 a 6
Cascajo	0.8 a 6

Nota: en las escorias hay óxidos de metales, sales, restos de fundentes y escoriantes usados, no se cuenta con el detalle de composición de estos materiales aunque puede ser similar a la composición de escoria de alto horno hasta cierto punto.

El cascajo derivado del deterioro de material refractario tiene finales diversos, en algunas siderúrgicas se recicla parcialmente en el BOF o se reusa para la producción de nuevo material, en otros acaba en un vertedero.

En los polvos capturados y escorias también puede haber residuos de contaminantes emitidos a la atmosfera, particularmente de dioxinas y furanos, se estima que la presencia de dioxinas y furanos en ellos es de 1.5µg I-TEQ/ton si se usa chatarra muy limpia o hierro virgen en hornos de diseño de bajas emisiones y 15µg I-TEQ/ton de acero líquido 15µg I-TEQ/ton de acero líquido si se usa chatarra (limpia o sucia) (PNUMA, 2005).

Las **emisiones de agua de desecho** son las siguientes (BREF, 2001a):

1. Agua de lavado de gas de BOF,
2. Agua utilizada para el enfriamiento directo de colada continua,
3. Agua de enfriamiento indirecto utilizada en equipos como el BOF y el sistema de colada continua o colada de lingotes.

El agua de lavado de gases

Estos gases se pueden tratar en base húmeda o seca. En el caso del tratamiento de base húmeda, se produce agua de desecho, que normalmente se trata y se recicla al proceso. Este tratamiento por lo general es llevado a cabo en dos pasos: separación de partículas gruesas (>200µm de tamaño de grano) seguido de sedimentación en tanques circulares. Agentes floculantes se adicionan para mejorar la separación. El lodo es espesado en filtros de vacío rotatorios, de cámara o centrifugas. No se tiene

mayor detalle de composiciones y flujos (BREF, 2001a).

El agua de desecho de la generación de vacío

Se generan hasta 5m³/ton de acero líquido, no se tiene mayor detalle de su composición, tratamiento o reciclaje (BREF, 2001a).

Agua de desecho de la colada continúa

Una parte de esta agua, usada para enfriamiento directo de la pieza sin fin de acero, se evapora, pero la que no, sale del sistema contaminada con óxidos de metal e hidrocarburos (aceites). Ésta se trata junto con la que sale de los molinos de rolado. No se tiene más detalle sobre esta corriente (BREF, 2001a).

El agua de enfriamiento indirecto de equipos.

Esta agua se puede contaminar con residuos de grasas y aceites utilizados por la máquinas que enfrían, hay siderúrgicas que enfrían esta agua en torres (de enfriamiento), la adecuan y reciclan, otras utilizan agua de una sola pasada (la utilizan y la desechan).

ELABORACIÓN DE ACERO VÍA ARCO ELÉCTRICO (EAF)

Hoy en día, el uso de hornos de arco eléctrico (electric arc furnace o EAF) para la elaboración de acero corresponde, en números redondos, a un tercio de la producción mundial, en la Unión Europea, hay países que producen la mayor parte de su acero por esta vía (Italia y España) y otros que lo utilizan para el total de su producción (BREF, 2001a).

La mayor parte de la alimentación del EAF es chatarra de hierro (Fe), que se obtiene de material de reciclaje de la misma siderúrgica, de recortes de empresas que lo utilizan para manufacturar sus productos (constructores de vehículos) y de chatarra generada por productos en el final de su vida útil (basura), el hierro directamente reducido (direct-reduced iron) también se utiliza, cada vez más, como alimentación dado su bajo contenido de ganga y al precio variable de la chatarra. Como sucede en el BOF, se forma escoria de cal que atrapa las impurezas del acero (BREF, 2001a).

Las operaciones para hacer acero vía EAF se muestran esquemáticamente en la siguiente figura.

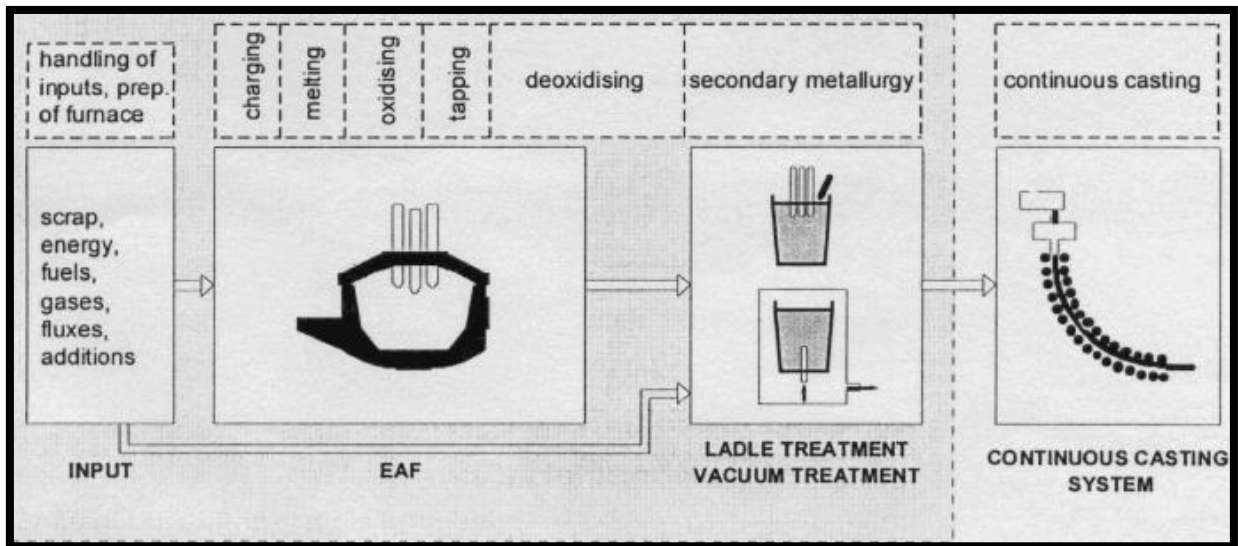


Figura 14. Esquema de operaciones para elaborar acero vía EAF, tomado de (Rentz, 1997)

Respecto a la elaboración de diferentes tipos de acero, se tienen rutas diferentes, para la elaboración de acero al carbón y de baja aleación se siguen las siguientes operaciones principales (BREF, 2001a):

1. Manejo y almacenamiento de materias primas,
2. Carga del horno con o sin precalentamiento de chatarra,
3. Fusión de la chatarra en el EAF,
4. Evacuación de acero y escoria del EAF,
5. Metalurgia secundaria (ajustes mínimos),
6. Manejo de escoria,
7. Colada continua.

Para aceros de alta aleación, la secuencia de operaciones es más compleja y particular para el tipo de producto final deseado. Adicionalmente a los pasos ya mencionados, la metalurgia secundaria incluye (BREF, 2001a):

1. Desulfuración,
2. Desgasado (eliminación de nitrógeno e hidrógeno),
3. Descarburación, con argón y oxígeno (AOD) o con vacío y oxígeno (VOD).

Manejo y almacenamiento de materias primas

Las áreas de almacenamiento de chatarra se localizan por lo general, a cielo abierto, en patios, muchas veces sin pavimentar, lo que lleva a emisiones de contaminantes al suelo, en general, las siderúrgicas (integradas) cuentan con almacenes cubiertos y pavimentados en donde de forma ordenada se clasifica y guarda la chatarra. Dependiendo del clima y de condiciones particulares de la chatarra, puede haber emisiones de compuestos orgánicos volátiles. En algunos casos, lidiar con la

radioactividad emitida por la chatarra es un asunto de importancia (BREF, 2001a).

La chatarra a utilizar en una siderúrgica es inspeccionada, clasificada y seleccionada para evitar el riesgo de incluir materiales peligrosos o contaminantes para el proceso. La chatarra generada en la instalación puede ser cortada en piezas manejables usando antorchas de oxígeno. La chatarra se carga en canastas o en bahías de carga dentro del área del EAF. En algunos casos la chatarra se precalienta (BREF, 2001a).

Otras materias primas, insumos (aleantes, cal, carbón, deoxidantes) y refractarios se guardan bajo techo. Después de la entrega, el manejo se minimiza para evitar la generación de polvos y cuando es necesario, se instalan equipos de extracción de polvos. Los materiales muy finos, se pueden almacenar en silos (la cal debe de mantenerse seca) y manejados neumáticamente o en bolsas selladas.

Pre calentamiento de la chatarra

Desde hace algunas décadas, se tiene la práctica de precalentar la chatarra con un sistema que utiliza gas de reciclo (por ejemplo del EAF o de algún otro proceso) para recuperar energía. Actualmente se tienen sistemas de precalentamiento, como los de hornos de columna el proceso "Consteel" que han probado ser exitosos para esta tarea y aprovechar mejor la energía. Actualmente hay más de 20 hornos de columna (varios tipos) en el mundo para este fin, 8 en Europa.

El precalentamiento de la chatarra puede generar emisiones de CO₂, compuestos aromáticos organohalogenados como las dibenzo-p-dioxinas policloradas y furanos, clorobenzenos (1,2-DCB, 1,4-DCB, MCB), bifenilos policlorados y compuestos aromáticos poli cíclicos y otros productos de combustión parcial como el formaldehído (CH₂O) y el CO si la chatarra está contaminada con pinturas, plásticos, lubricantes y otros compuestos orgánicos. Estas emisiones pueden minimizarse con sistemas de poscombustión integrados al horno con quemadores adicionales de oxígeno. Sistemas actuales aprovechan el calor de poscombustión de gases para precalentar la carga del horno. Los sistemas de poscombustión no se diseñan igual para todas las corrientes de gases, habiendo diferencias claras para gases de horno de precalentamiento y otros. El consumo de energía de estos sistemas es considerable (BREF, 2001a).

Carga

La chatarra es usualmente cargada en carros junto con cal y dolomita que se usa como escoriante, carbón en grano grueso (propiamente en terrones) también se carga, lo que aumenta las emisiones de BTX (benceno, tolueno y xilenos). Los electrodos del horno se levantan a la posición más alta, el techo del horno se desplaza para permitir la carga. Por lo general se vierte entre el 50 a 60% del material, luego se cierra el techo del horno y los electrodos se bajan a la chatarra. Entre 20 y 30mm por arriba de la carga (chatarra) se genera el arco eléctrico. Después de que la primera carga se funde, el resto se adiciona, en 1 o dos porciones

más (BREF, 2001a).

Los hornos de columna para precalentamiento se integran para que descarguen el material directamente al EAF, en el proceso Consteel la chatarra es alimentada de manera constante por un transportador horizontal aunque este sistema no se le considera (en la Unión Europea) una técnica probada (BREF, 2001a).

Fusión

Durante el periodo inicial de la fusión, la energía aplicada se mantiene a niveles bajos para evitar el daño a las paredes y techo del horno por la radiación, mientras que se les permite a los electrodos estar en contacto con la chatarra. Una vez que los arcos han sido “cubiertos” por la chatarra, se incrementa la energía para completar la fusión. Actualmente se utilizan lanzas de oxígeno y/o quemadores con oxígeno combustible, sobre todo al inicio de la fusión. Se utiliza gas natural y otros combustibles derivados del petróleo (combustibles adecuados). Posteriormente se adiciona oxígeno a la mezcla mediante inyectores en la pared o en el fondo del EAF. (BREF, 2001a).

El uso de oxígeno en los EAF se empezó a utilizar desde hace 40 años y cada vez es más común por razones de proceso (metalúrgicas) y para incrementar la productividad. La disponibilidad de este insumo en grandes cantidades tiene que ver con este hecho, las siderúrgicas integradas cuentan con plantas criogénicas de destilación de aire que lo hace disponible a un costo razonable y sin depender de otros (BREF, 2001a).

El oxígeno se utiliza principalmente para la descarburación del material fundido y para remover elementos no deseados como P, Mn, Si y S. Adicionalmente, reacciona con hidrocarburos generando energía (reacciones exotérmicas). La inyección de oxígeno aumenta marcadamente la emisión de gases y humos. El CO y CO₂, polvos finos de óxido de hierro y otros están presentes. La poscombustión reduce el contenido de CO a menos del 0.5% en volumen (BREF, 2001a).

Se usa argón y otros gases inertes para mejorar homogenizar la composición y temperatura de la mezcla (se inyectan). El equilibrio entre el metal fundido y la escoria se mejora mucho también con esta técnica (BREF, 2001a).

Evacuación de acero y escoria del EAF

En siderúrgicas sin una unidad o sección separada para la metalurgia secundaria, se adicionan los aleantes durante el vertido, éstas incrementan considerablemente la emisión de humos. La escoria se remueve durante el calentamiento y la inyección de oxígeno o al final de estos (más común) justo antes del vertido. El horno se inclina hacia tras, hacia la puerta de escoria y ésta corre por un canal hacia un recipiente en la base (en el suelo), durante esta operación se genera polvo y humos. En sistemas más actuales, el metal líquido sale por la base del EAF permitiendo que el metal fundido, que sale primero, sea separado más eficientemente de la escoria que sale

después (BREF, 2001a).

Metalurgia secundaria

Básicamente son el mismo tipo de operaciones descritas para la vía de hacer acero del BOF, siendo el uso de vacío igual de importante, en esta etapa del proceso, las técnicas y procesos de metalurgia secundaria se aplican de acuerdo al producto final deseado y características del metal fundido entregado (por el EAF o BOF) (BREF, 2001a).

Manejo de escoria

Éste fue descrito previamente, aunque la técnica aplicada puede variar de una instalación a otra o incluso del manejo de la escoria de un horno a otro dentro de una misma siderúrgica. Por lo general se emiten humos y humos al enfriarla y moverla (BREF, 2001a).

Colada continúa

Estos sistemas son los mismos en general para el manejo de acero proveniente del BOF o del EAF, así como el resto del proceso de elaboración de productos de acero.

Un balance de materia da una idea más clara de lo que se consume y genera en el proceso de elaboración de acero vía EAF, mismo que se muestra en el recuadro siguiente. (Nota: Los recuadros 14.1, 14.2 y 14.3 corresponden a uno solo del original que se partió por su tamaño para colocarlo en el presente trabajo. La información corresponde a diversas instalaciones que utilizan la vía descrita anteriormente, localizadas en estados miembros de la Unión Europea) (BREF, 2001a).

Recuadro 14.1. Intervalos de consumos de materias primas típicas de la elaboración de acero vía EAF (BREF, 2001a)

Materias primas	Cantidad en kg/ton de acero líquido³
Chatarra	1,080 a 1,1130
Cal	30 a 80
Carbón	13 a 15
Grafito (electrodos)	1.5 a 4.5
Refractario	1.9 a 25.1 (promedio 8.1)
Metal líquido caliente	
Hierro reducido directamente (DRI)	
arrabio	

Nota 1: El uso de metal caliente líquido es en casos muy especiales (alrededor de 275kg/ton de acero líquido), cuando es el caso, la cantidad de chatarra disminuye

Nota 2: También es posible utilizar arrabio y hierro reducido directamente

El consumo de energía (total), electricidad, oxígeno y agua se muestra en el

recuadro siguiente.

Recuadro 14.2. Intervalos de consumos de energía, oxígeno, vapor, aire comprimido y agua en un alto horno (BREF, 2001a)

Concepto	Unidad ³	Valor
Energía total	MJ/ton de acero líquido	2,300 a 2,700
Electricidad	MJ/ton de acero líquido	1,250 a 1,800
Oxígeno	m ³ /ton de acero líquido	24 a 47
Agua	m ³ /ton de acero líquido	Muy poca (ciclo cerrado)

Nota 3: Este acero líquido es el que forma parte de productos como planchones, tochos, etc.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA ELABORACIÓN DE ACERO VÍA HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

El principal impacto ambiental de esta vía de elaboración de acero son las emisiones de gases, partículas a la atmósfera y la generación de escoria, los cuales se pueden ver más fácilmente en el siguiente recuadro con intervalos de valores encontrados en estudios distintos de hornos de arco eléctrico en estados miembros de la Unión Europea).

Recuadro 14.3. Intervalos de composición de emisiones de gases durante la elaboración de acero, vía EAF, estas no incluyen la combustión del gas de EAF, (BREF, 2001a)

Salida	Unidad	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	1 a 780 ⁴
Hg	mg/ton de acero líquido	6 a 4,470 ⁵
Pb	mg/ton de acero líquido	16 a 3,600 ⁶
Cr	mg/ton de acero líquido	8 a 2,500 ⁶
Ni	mg/ton de acero líquido	1 a 1,400 ⁶
Zn	mg/ton de acero líquido	280 a 45,600 ⁶
Cd	mg/ton de acero líquido	<1 a 72 ⁶
Cu	mg/ton de acero líquido	<1 a 460 ⁶
HF	mg/ton de acero líquido	<700 a 4,000 ⁶
HCl	mg/ton de acero líquido	800 a 9600 ⁶
SO ₂	g/ton de acero líquido	24 a 130 ⁶
NO _x	g/ton de acero líquido	120 a 240 ⁶
CO	g/ton de acero líquido	740 a 3,900 ⁶
Compuestos orgánicos totales	gC/ton de acero líquido	16 a 130 ⁶
Benceno	mg/ton de acero líquido	170 a 4,400 ⁶
Clorobencenos	mg/ton de acero líquido	3 a 37 ⁶
Compuestos aromáticos poli cíclicos	mg/ton de acero líquido	3.5 a 71 ⁷
Bifenilos policlorados	mg/ton de acero líquido	1.5 a 4.5 ⁷
Dioxinas y furanos ⁸	µg I-TEQ/ton de acero líquido	0.07 a 9 ⁶

Nota 3: El cálculo se hizo tomando como base 8,000Nm³/ton de acero líquido pero en la práctica se pueden tener flujos desde 6,000 a 16,000 Nm³/ton de acero líquido, lo que se tiene que considerar si se quieren usar los datos como referencia o como factor de emisión. (TWG for I&S., 1998).

Nota 4: De acuerdo con el estudio realizado (Roederer, C. Gourtsoyannis, L., 1996), el promedio y la desviación estándar de emisiones de polvos (primarias y secundarias) de 38 plantas es 124 más menos 166g/ton de acero líquido, las plantas con filtros de bolsas bien diseñados llegan a niveles de emisión de <20g de polvo por tonelada de acero líquido, la emisión de metales pesados esta directamente correlacionada con el contenido de partículas en el gas residual.

Nota 5: Las emisiones de Hg varían mucho de una carga a otra y de una siderúrgica a otra (se tomaron datos de plantas en Alemania, Dinamarca y Suiza).

Nota 6: Los datos provienen de diferentes plantas de países de la unión europea, algunos datos son de estudios diferentes, consultados por el grupo técnico de trabajo que dio apoyo a la elaboración de los documentos de referencia de las mejores técnicas disponibles en la industria siderúrgica.

Nota 7: Suma según EPA 16.

Nota 8: Las Naciones Unidas proponen un factor de emisión de 0.1µg I-TEQ/ton de acero líquido, usando chatarra muy limpia y/o hierro virgen con hornos con sistemas de control de emisiones y horno de diseño de bajas emisiones, 3µg I-TEQ/ton de acero líquido se usa chatarra limpia, con poscombustión y filtros de tela y hasta 10µg I-TEQ/ton de acero líquido si se usa chatarra sucia con precalentamiento y controles limitados (PNUMA, 2005).

En los polvos capturados también puede haber dioxinas y furanos, se estima que la presencia de dioxinas y furanos en ellos es de 1.5 si se usa chatarra muy limpia o hierro virgen en hornos de diseño de bajas emisiones y 15µg I-TEQ/ton de acero líquido si se usa chatarra (limpia o sucia) (PNUMA, 2005).

La generación de residuos sólidos y subproductos de la elaboración de acero vía BOF se resumen en el recuadro siguiente:

Recuadro 15. Resumen de residuos sólidos o subproductos generados a partir de la elaboración de acero vía EAF (BREF, 2001a)

Residuo o subproducto sólido	Cantidad producida kg/ton de acero líquido (aceros al carbón y de baja aleación)	Cantidad producida kg/ton de acero líquido (aceros de alta aleación)
Escoria del EAF	100 a 150	100 a 135
Escoria de metalurgia secundaria	10 a 30	30 a 40
Escoria de metalurgia secundaria (desgasado con argón y oxígeno)		Hasta 160
Polvos colectados	10 a 20	
Ladrillos refractarios	2 a 8	2 a 8
Ruido (dB)	90 a 125	90 a 125

En los residuos sólidos generados puede haber residuos de contaminantes emitidos al aire, particularmente de dioxinas y furanos, a partir de la revisión de diversos estudios hechos en Europa y los Estados Unidos principalmente, las Naciones Unidas dan como factor de emisión 1.5µg I-TEQ/ton de acero líquido producido si se usa chatarra muy limpia o hierro virgen y 15 µg I-TEQ/ton de acero líquido si se usa chatarra (limpia o sucia). Para mayor detalle se sugiere consultar la fuente (PNUMA, 2005).

Emisiones de agua (BREF, 2001a)

Las emisiones de agua de desecho son las siguientes:

1. Escorrentías del patio de chatarra,
2. Agua del lavado de gases.

Escorrentías del patio de chatarra

Si los patios de chatarra son al aire libre y no están pavimentados, el agua que escurre acarrea aceites, polvos y restos de materiales presentes en ella, no se

cuenta con mayor detalle de este tipo de aguas (BREF, 2001a).

Agua del lavado de gases

Es el agua proveniente de lavadores de gases, probablemente con contaminantes similares a los emitidos al aire, no se cuenta con información detallada sobre su composición, éstas se envían a la planta de tratamiento de aguas y en algunas plantas se reciclan (BREF, 2001a).

Agua de la colada continúa

El agua utilizada para el enfriamiento directo de la pieza sin fin producida, ésta contiene residuos sólidos (1 a 3g por litro) y restos de aceites y grasas usados en las maquinas como lubricantes. Esta agua se trata junto con otras corrientes en la planta de tratamiento de aguas de la siderúrgica (BREF, 2001a).

La **Contaminación del suelo** ocurre cuando se tienen áreas de chatarra y de escorias sin pavimentar y/o cuando las aguas con contaminantes no son adecuadamente encausadas, en instalaciones actuales se ha puesto especial cuidado para evitar que esto pase ya que pueden acabar en el suelo metales pesados y otros elementos y compuestos que son sumamente agresivos con la salud humana y el medio ambiente en general (BREF, 2001a).

REDUCCIÓN DIRECTA DE HIERRO

EL concepto de reducción directa del hierro se desarrollo hace poco más de 55 años pero las primeras plantas comerciales se construyeron a finales de los años 1960. Dado que el proceso requiere (generalmente) de un abastecimiento barato de gas natural, estas plantas se localizan en regiones con fácil acceso a este recurso. Actualmente la reducción directa no se ha expandido de manera importante en el mundo, la masa total de éste es un poco mayor al 4.4% de la de arrabio en el mundo aunque se espera que se incremente con mayor rapidez en el futuro dada la tendencia actual de la industria de ahorrar energía y ser más eficiente (en todo lo posible) (BREF, 2001a).

LA reducción directa involucra el cambio de esto de oxidación del hierro contenido en la mena, transformándose en hierro metálico en estado sólido. La temperatura del proceso es menor a 1,000°C y el producto se le conoce como DRI (Direct Reduced Iron). Éste tiene un contenido de metal (hierro principalmente) igual o mayor al 92% y un contenido de carbón menor al 2%. El DRI se utiliza como carga para hornos de arco eléctrico, si es necesario almacenar o transportarlo, se funde en briquetas de alto contenido de hierro, internacionalmente se conocen como HBI (Hot Briquetted Iron). Un inconveniente del DRI es que representa un riesgo de fuego mayor que otras materias primas (BREF, 2001a).

Varios métodos se han utilizado en los pasados 50 años para producir hierro directamente reducido, en la práctica industrial, se tienen 3 principales procesos

operativos que son: MIDREX, HyL (I, II y III) y el FIOR. Muy recientemente se han desarrollado otros como el FASMET, IRON CARBIDE, CIRCORED, INMETCO y FINMET. Aproximadamente 92% del hierro directamente reducido se produce utilizando gas natural como combustible (y agente reductor), en algunos lugares, se utiliza carbón. Como carga se puede usar mena, terrones (de mena) y/o pellets de mineral de hierro para procesos con un horno de columna (shaft) como en procesos MIDREX y los HyL, finos y concentrados se utilizan en procesos de lecho fluidizado como el CIRCORED, FINMET, IRON CARBIDE, o en hornos de hogar rotatorio como en los procesos FASTMET e INMETCO (BREF, 2001a).

Una alternativa al uso del hierro directamente reducido es el carburo de hierro (Fe_3C). Éste es producido de forma similar al DRI antes descrito, pero el producto contiene generalmente 90% en peso de Fe_3C . El contenido de carbón es relativamente alto (6% en peso aproximadamente), lo que provee de suficiente energía para reducir el consumo de energía eléctrica en el EAF de forma apreciable. El carburo de hierro se puede utilizar en las mismas aplicaciones que el hierro directamente reducido. La primera planta comercial de carburo de hierro se comisionó en Trinidad en 1995 con una capacidad de 300,000 toneladas métricas por año (BREF, 2001a).

Se utiliza el hierro directamente reducido cuando se cuenta con las siguientes condiciones:

1. Cuando no se cuenta con chatarra de buena calidad, para poder cumplir con las especificaciones del producto,
2. En pequeñas siderúrgicas en las que, debido a la demanda, los altos hornos son demasiado grandes,
3. En situaciones en las cuales no se tenga fácil acceso a la chatarra o ésta sea muy cara,
4. En siderúrgicas medianas o grandes que necesitan incrementar su producción de acero líquido total.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA REDUCCIÓN DIRECTA DE HIERRO

El mayor beneficio de estos procesos, comparados con un alto horno, es que se utiliza gas natural (o carbón o coque en algunas plantas) como combustible, por lo que la planta coquizadora se hace innecesaria, reduciendo significativamente las emisiones contaminantes. El impacto per ce de estos procesos es muy limitado. Las emisiones de partículas son muy escasas y fácilmente colectadas. La necesidad de agua es baja y por lo general se recicla totalmente, además, el proceso de reducción basado en metano produce mucho menos CO_2 que el basado en carbono (Nagai, 1995).

Sin embargo, el hierro directamente reducido contiene algo de ganga (entre el 3 y 6%) lo que lleva a elevar el consumo de energía eléctrica en el EAF, no se cuenta con detalles mayores de emisiones (Nagai, 1995).

REDUCCIÓN (DEL HIERRO) DURANTE LA FUSIÓN Y SU IMPACTO AMBIENTAL

El producto generado vía SR (smelting reduction) es arrabio y en algunos casos, acero líquido. Más que en el proceso de reducción directa, el de reducción en fusión se puede considerar como un competidor directo de las formas tradicionales de hacer acero (Alto horno con Convertidor de Oxígeno y/o EAF). Éste tiene ventajas sobre los procesos que incluyen altos hornos, lo que puede convertirlo, en el futuro en el proceso predominante en el mundo para producir arrabio. Las siguientes ventajas son las más importantes (BREF, 2001a):

1. Unidades más pequeñas, lo que permite mayor flexibilidad en la producción,
2. Menores restricciones en las materias primas utilizadas,
3. Utiliza carbón como combustible sin necesidad de una planta de coque,
4. Menor inversión requerida.

Las principales desventajas son (BREF, 2001a):

1. No se puede utilizar menas muy finas,
2. La demanda de energía y las emisiones de CO₂ son mayores comparadas con la vías de hacer acero que incluyen altos hornos,
3. La economía del proceso es muy dependiente del uso de la energía que se recupera del proceso (gas de SF).

Actualmente hay varios procesos de SR en desarrollo, solo uno es operativo en escala comercial, el "COREX". Éste varía en el número de reactores, la cantidad de gas (calorífico) generado, la alimentación de la mena (pellets, terrones o finos).

El proceso COREX tiene dos etapas principales: En la primera, la mena de hierro se reduce para formar "hierro esponja" (sponge iron) en un horno de columna utilizando gas como agente reductor. En la segunda etapa, el hierro reducido se funde en un recipiente de fundición y gasificación. EL gas usado (CO y H₂) se genera por gasificación de carbón por medio de oxígeno, formando una cama fija/fluidizada en el recipiente de fundición y gasificación. La combustión parcial del carbón genera la energía suficiente para fundir el material abundante en hierro (ya reducido). El hierro líquido y la escoria son descargadas por el fondo por el procedimiento convencional, similar al descrito para el alto horno (BREF, 2001a).

Debido a las dos etapas, bien diferenciadas, este proceso tiene una gran flexibilidad y es posible utilizar una gran variedad de carbones. El proceso está diseñado para desempeñarse a una presión elevada, hasta 5bar. La carga de la alimentación se hace por medio de un sistema cerrado (BREF, 2001a).

El gas utilizado para reducir el hierro contiene entre 65 a 70% de CO, 20 a 25% de H₂ y 2 a 4% de CO₂. Después de dejar el fundidor/gasificador, la mezcla caliente se mezcla con gas de enfriamiento para ajustar la temperatura a 850°C, luego es llevado ciclones calientes para ser limpiado y se alimenta al horno de columna para que sirva como agente reductor. Cuando el gas abandona el horno de columna, aun tiene un

alto poder calorífico, que se puede aprovechar para exportarse como subproducto o si es posible para generar electricidad y venderla. El poder calorífico del gas se estima en 7.5MJ/Nm³ si se utiliza carbón típico (28.5 de materia volátil), si se usan otros tipos de carbón, este valor puede variar. Para mostrar más claramente este proceso, se muestra el siguiente recuadro (BREF, 2001a).

Recuadro 16. Consumos, emisiones y subproductos del proceso COREX, obtenidas de una planta en Pretoria, África del Sur, (Kreulitsch, 1994) en (BREF, 2001a)

	Unidad	Usando mena en terrones	Usando pellets
Capacidad de fundición	ton AL/h	45	53
Consumo de carbón	kg/ton de AL	1,080	1,000
Consumo de carbón fijo	kg/ton de AL	615	570
Consumo de O ₂	Nm ³ /ton de AL	540	500
Escoria producida	kg/ton de AL	450	300
Gas de SF	Nm ³ /ton de AL	1,750	1,710
Emisión de polvos	g/ton de AL	39 a 139	39 a 139
Emisión de SO ₂	g/ton de AL	26 a 333	26 a 333
Emisión de NOx	g/ton de AL	21 a 33	21 a 33
Consumo de energía	GJ/ton de AL	17	17

LAMINACIÓN EN CALIENTE

Una vez que el acero se ha colado y conformado el planchón, tocho, billets y/o lingotes, la pieza se somete a un proceso de laminado en caliente en donde su tamaño, forma y propiedades metalúrgicas del material se modifican al comprimirlo a una temperatura entre 1,050 y 1,330°C entre rodillos movidos por un motor. La alimentación del material varía según la ruta de proceso existente y el producto final a elaborar (BREF, 2001b).

PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS PARA LA LAMINACIÓN EN CALIENTE

Los **lingotes colados** de sección transversal cuadrada (generalmente son de esa forma), se usan para elaborar planchones y tochos en trenes de laminación y desbastado de tochos. Los planchones (slabs) y tochos (blooms) son, a su vez, procesados posteriormente para dar origen a otras planchas, placas y perfiles en otros trenes de laminación. Actualmente la colada continua hace obsoleto la fundición en lingotes ya que ésta hace posible pasar a los planchones y tochos de forma directa, únicamente se recurre a los lingotes para algunos productos especiales (perfiles pesados, placas pesadas) (BREF, 2001b).

Los **planchones**, por lo regular de 400 a 250mm de ancho y de 40 a 50mm de grosor son producidos actualmente por sistemas de colada continua, es un producto intermedio que sirve de base para elaborar placas de distintas formas (productos planos) (BREF, 2001b).

Los **billets** (conocidos en España como palanquillas (BREF, 2006)), son placas de forma cuadrada o rectangular con secciones transversales de 2,500mm² a 14,000mm² (50X50 a 120X120mm) y los **tochos**, cuadrados o rectangulares con

secciones transversales desde 14,000mm² hasta 100,000mm² (120X120 a 250X400mm), son hechos en colada continua y utilizados generalmente para laminar productos alargados (BREF, 2001b).

Los **perfiles en bruto** (beam blanks), de 170X240mm hasta 500X1120mm se hacen en moldeo continuo de precisión, con una forma cercana a la del producto final, por lo regular se utilizan de base para hacer productos alargados, (BREF, 2001b).

Los productos que se obtienen son básicamente planos y alargados, los tubos se consideran dentro de la categoría de alargados. En la siguiente figura se muestra un resumen de los diversos productos laminados en caliente más comunes hoy en día.

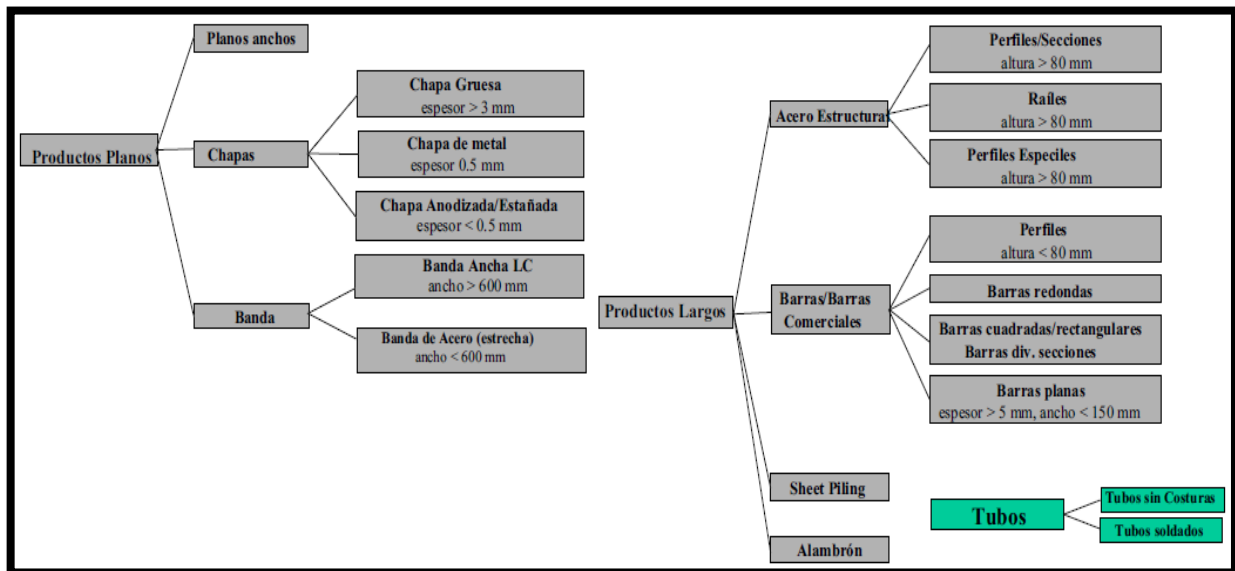


Figura 15. Productos laminados en caliente elaborados hoy en día en la industria siderúrgica, modificado de (BREF, 2006)

PRINCIPALES PROCESOS DE LAMINACIÓN EN CALIENTE

Los principales procesos de laminación en caliente son diversos, variando según el tipo de producto (intermedio) a elaborar. En general se tienen los siguientes tipos de trenes de laminación en caliente. (BREF, 2001b).

1. Desbastadores de tochos (blooming) y laminadores,
2. Placa de pequeño calibre (strips),
3. Chapa (heavy plate),
4. Barras y alambres,
5. Perfiles,
6. Tubos (sin costuras, soldados).

Los **trenes desbastadores de tochos y laminadores** (blooming/Slabbing Mills) trabajan con lingotes, transformándolos en tochos y planchón. La diferencia principal entre los “blooming” y las laminadoras de planchón es que las últimas tienen una

mayor altura de los rodillos superiores que las primeras. Como ya se ha mencionado, los sistemas de colada continua han disminuido mucho la necesidad del lingote como producto intermedio.

Los **trenes de laminado de “bandas”** (Hot strip mills) sirven para la producción de placas de pequeño grosor (“strips”) que van desde 1.2 hasta 20mm partiendo de planchones de acero previamente elaborados (BREF, 2006).

Los **trenes de laminado de chapa** (Plate mills), sirven para producir placas gruesas, con un espesor de entre 5 y 380mm, aunque en instalaciones especiales se han obtenido grosores de hasta 5,200mm, estos productos pueden necesitar de tratamientos térmicos y físicos especiales. Los productos con varias capas, conocidos como “chapeados” (clads), requieren, al menos de una doble laminación en caliente, por lo general, a la placa de acero al carbón (material principal o sustrato), se le adhiere de forma permanente, una capa de material resistente a la corrosión. Los trenes de laminado pueden incluir los de chapa y los de banda, según se requiera. El control de temperatura y el dimensionamiento de la pieza requieren de mayor fineza para lograr las propiedades buscadas (BREF, 2001b).

Los **trenes de laminación de barras y alambrones** forman productos de secciones relativamente pequeñas, fabricados en forma de bobina o recta. Se utilizan rodillos perfilados con el fin de dar al material (generalmente billets) la forma final que se busca. Los alambrones tienen secciones generalmente circulares con diámetros de 5 a 14mm. Este producto se puede procesar posteriormente en trefilado o laminación en frío. Otras formas y espesores también se pueden fabricar aunque son menos comunes en el mercado (BREF, 2001b).

Las barras incluyen productos comerciales de acero con secciones transversales redondas, cuadradas, hexagonales, octogonales, en forma de “L”, en forma de “I” y barras de refuerzo para hormigón con secciones redondas de 6 a 40mm de diámetro, con nervaduras en su superficie (BREF, 2001b).

Los **trenes de laminación de perfiles**, que sirven para hacer piezas con diversas formas para diferentes aplicaciones, estos trenes cuentan con molinos de desbaste, intermedios y de acabado, como la mayoría. El control de la geometría de la pieza es sumamente importante ya que esta característica de la pieza es la que define la forma en que se elabora y se usa, actualmente se utiliza tecnología de láser y elementos radioactivos para una mejor medición de dimensiones (BREF, 2006).

Los diseños de estos trenes de laminación varían enormemente según la tecnología disponible y la forma final de la pieza, actualmente se utiliza cada vez más, perfiles en bruto (beam blanks) hechos con moldeo de precisión para aumentar la productividad y reducir el consumo de energía (BREF, 2001b).

Cuando es posible, algunas empresas transfieren la pieza que sale de la máquina de colada continua (con o sin moldeo de precisión), directamente al horno de recalentado del tren de laminación, logrando un ahorro de energía considerable, esto

no siempre es posible por cuestiones de logística y de esquemas de producción variables. (La forma tradicional de hacer la pieza, enfriarla, clasificarla y guardarla en un almacén hasta que es requerida por el proceso de laminación) (BREF, 2001b).

Los **trenes de laminación de tubos** se dividen en dos principalmente, que son los tubos sin costuras (seamless) que incluyen etapas como el calentamiento del material, perforación, alargamiento y estirado, laminación final y tratamiento térmico. Utilizando trenes de mandriles, tapones, de banco para estirado y Pilgeer (BREF, 2006).

Los **tubos soldados** se elaboran a partir de placas delgadas o a partir de bandas de acero laminadas en caliente o en frío y menos frecuente, de chapas laminadas en caliente (algunas muy gruesas). La secuencia de elaboración incluye el curvado de la pieza hasta formar el tubo abierto, el cierre de éste se hace mediante una técnica de soldadura, las más comunes son la de presión y la de resistencia-presión (BREF, 2001b).

En la soldadura por presión (Fretz-Moon), se calienta el material en un horno de túnel. Los bordes de éste se calientan a una mayor temperatura con quemadores adicionales, el tubo se forma al curvar el material y la costura se cierra al comprimir los bordes calientes, uno contra el otro hasta lograr la unión (BREF, 2001b).

En la soldadura por resistencia-presión, la energía requerida para la unión se genera al aplicar una corriente alterna de alta frecuencia, mediante conducción o inducción. Posteriormente se aplican tratamientos térmicos para mejorar las propiedades de la costura (y del tubo en general), pudiendo ser en línea continua o a la pieza individualmente (piezas muy grandes). Esta técnica hace que los materiales de los bordes se fundan y mezclen entre sí, es utilizada para tuberías de diámetro mayor a 457.2mm (BREF, 2006). Más detalle sobre los tipos de soldadura se puede ver en la subsección de este documento "Soldadura".

De forma general, todos los trenes de laminación en caliente citados anteriormente siguen las etapas que se describirán a continuación, las diferencias se encuentran en la conformación de las máquinas y el trabajo en detalle realizado por ellas para darle al producto las características deseadas.

Los principales procesos llevados a cabo en trenes de laminación en caliente constan de las siguientes etapas (BREF, 2006), (BREF, 2001b):

1. Acondicionamiento de la pieza,
2. Recalentamiento y tratamientos térmicos,
3. Descascarillado,
4. Laminación,
5. Acabado final.

RECTIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL DE ENTRADA

Los planchones, tochos y billets generalmente tienen defectos en su superficie, que incluyen grietas, pliegues o costuras, por esta razón es necesario un tratamiento que asegure que la superficie tenga las características deseadas. Los tratamientos más comunes en la industria del acero para estos fines son los siguientes:

Desbarbado (scarfing)

Consiste en utilizar una llama de acetileno y una corriente de oxígeno para eliminar los defectos superficiales, ésta funde y oxida el acero al mismo tiempo que la corriente (separada) de oxígeno a alta presión erosiona (desprende) la escoria. Se puede hacer manualmente o de manera automática según el tamaño del lote, las piezas y los recursos de la empresa (BREF, 2001b).

En sistemas automatizados, la cascarilla que queda en la superficie del metal se lava con agua a presión, llevándose a una fosa de donde se extrae posteriormente con imanes, el agua separada requiere tratamiento antes de recircularse, para controlar los polvos emitidos, por lo general se utilizan principiadores electrostáticos con base húmeda o seca (BREF, 2001b).

Desbaste (grinding)

Para el caso de los aceros de alta aleación, inoxidable y especiales, la técnica anterior no es adecuada, por lo que el desbaste es una opción, pudiendo ser manual o automatizado. En el caso del primero, éste se realiza con herramientas manuales impulsadas por motores, en cabinas con sistemas de extracción y filtros de partículas y gases, el trabajo se hace sobre mesas de rodillos que sirven para apoyar la pieza a trabajar, permitiendo el desplazamiento de ésta. La rueda de desbaste o muela está montada en un carro para permitir que se mueva a lo largo de la pieza (BREF, 2006).

Para el trabajo automatizado, se dispone la pieza en una línea de producción continua o en un área de trabajo en donde distintas máquinas, movidas por brazos o grúas hacen el trabajo, controlados y/o supervisados por el personal y/o por un programa (software). Cuando es necesario, los planchones se cortan al tamaño adecuado, por lo general se utilizan antorchas de oxigás para lograr este fin (BREF, 2006).

RECALENTAMIENTO Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Para este tipo de laminación, el material (acero), alimentado al tren, se calienta a una temperatura de entre 1,050 a 1,330°C procurando una adecuada distribución de la temperatura en toda la pieza.

Según el tipo de material en particular y el proceso de laminación a seguir, el recalentado se lleva a cabo en diferentes tipos de horno, como los de hoyo (pit), de

empuje (pusher type), de barra caminante o balancín (walking beam), de solera rotatoria entre otros. Los combustibles utilizados son el gas natural, algún combustóleo o aceite de petróleo (destilados intermedios), gases generados en procesos siderúrgicos, como el gas de alto horno, de coque entre otros, según éste, serán las emisiones de gases de combustión correspondientes. Los hornos de laminado en caliente pueden ser continuos o por lotes, según las necesidades particulares de la planta (BREF, 2001b).

Los hornos por lotes o discontinuos se utilizan preferentemente para aceros y forjas. Uno de los más comunes de este tipo son los de **hoyo** (pit furnace), que se utiliza para recalentar lingotes, planchones y tochos. Consta de un de cámara que tiene en su interior un alineamiento o forro de ladrillos refractarios, en ella se coloca el material de manera vertical (lingotes) u horizontal (planchón) a través de placa móvil en la parte superior. La capacidad de estos hornos es de 50 a 170 toneladas, con una potencia de 9.5MW (térmica) capaz de calentar 10.7ton de acero por hora. Estos hornos son actualmente poco usados ya que los sistemas de colada continua los hace innecesarios (BREF, 2001b).

Otro tipo de horno por lotes es el de solera con carrito al hogar (bogie hearth furnace), en el que la carga se lleva a la cámara del horno mediante un carrito (un bogie). La cámara del horno está aislada mediante una puerta que se cierra para recalentar el material, una vez que se alcanza la temperatura deseada, ésta se abre y el carrito sale con el planchón, pieza moldeada o tocho (BREF, 2001b).

Los **hornos continuos** generalmente son grandes (mayores a 20MW térmicos) y se alimentan al mismo tiempo que éstos entregan la carga recalentada. En los hornos de empuje, el material es empujado al horno por el material que lo antecede o en los hornos de balancín, el material entra al horno mediante esta pieza (el balancín) (BREF, 2006).

DESCASCARILLADO (DESCALING)

Antes de que la pieza entre propiamente al laminado, es necesario eliminar la cascarilla generada durante el recalentado para evitar la contaminación de los rodillos con cascarilla impresa en ellos (la pasaran al resto del lote) (BREF, 2001b).

En el descascarillado mecanizado, la cascarilla se quiebra mediante unos rodillos que presionan la pieza ligeramente, luego se desprende mediante un chorro de algún fluido o “cepillada”, por lo general, este desecho no se reutiliza de nuevo. Actualmente, el método más utilizado consta del uso de rodillos para triturarla y un chorro de agua a alta presión (120 a 250bar, excepcionalmente hasta 600bar) para eliminarla (BREF, 2001b).

Para limpiar la superficie, la presión de impacto del chorro de agua es la que cuenta (no la presión de salida de las boquillas o la del sistema hidráulico). Para realizar esta tarea se aplican diferentes arreglos de equipos. Para el caso de productos alargados, se utilizan cabezales de descascarillado en forma de anillos y/o con cabezales

verticales i horizontales, muchas veces ajustables a la sección transversal de la pieza, logrando así un descascarillado homogéneo y eficiente de la superficie (BREF, 2001b).

LAMINADO

Esta etapa, a su vez, se divide en otras etapas que pueden variar según el producto final, de manera general se describirán a continuación.

Laminado tosco (roughing)

Es la primera reducción de gran proporción en el planchón (por lo general) para producir barras, bandas y perfiles. El tren de esta etapa de laminado consiste en uno o dos molinos horizontales que reducen el espesor, algunos sistemas incluyen también bordeadoras (ver adelante) situadas en una etapa posterior, cuando se tienen molinos horizontales reversibles, se utilizan bordeadoras antes y después de éstos (BREF, 2001b).

Laminado de bordeado (Edging)

Es la operación que se aplica, por lo regular en la fabricación de bandas y de chapas, los planchones producidos en la colada continua tienen dimensiones definidas. El ancho de éstos se reduce de acuerdo a la especificación del producto final, con una tolerancia mínima para reducir la generación de material de desecho (scrap), hacer eficiente el proceso y obtener un buen producto. Esta reducción se realiza, en muchos casos, en trenes verticales de laminación, también conocidos (en español) como “bordeadoras” (BREF, 2001b).

Laminación de chapa

Este proceso es similar al laminado tosco antes mencionado, los planchones se laminan en etapas, en los que se les estira, gira 90° mediante rodillos cónicos sobre una “mesa” especialmente adaptada, para luego unirse a la otra placa, algunos productos pueden requerir de un tratamiento térmico adicional (ver más adelante) (BREF, 2001b).

ACABADO

Es en sí, una etapa de laminado más fino que el primero pero muy importante para obtener el producto final. Diferentes productos tienen acabados distintos, los cuales se describen brevemente a continuación.

Tren de acabado para bandas

Este tren, por lo general consta de una serie de molinos dispuestos en forma consecutiva, el espesor es menor a la salida de cada etapa. El número de molinos (o cajas) depende del espesor inicial y tipo de material del planchón original así como de

las especificaciones de la pieza final (BREF, 2001b).

Antes del tren de acabado, generalmente se tienen máquinas cortadoras o cizallas para cortar la pieza, evitando daños a los rodillos, evitando o reduciendo mucho la generación de material descartado (scrap) y haciendo la operación más segura.

Algunas empresas, tienen un sistema de descascarillado adicional (generalmente es a chorro de agua a presión) entre las máquinas cortadoras y los molinos, también, en algunas ocasiones, se tiene un molino vertical que sirve de guía (a la banda en formación) que además da pequeños ajustes en su ancho (BREF, 2001b).

Bobinadoras (tren de acabado de laminación)

Una vez que se tiene la banda formada en caliente, ésta se enrolla en una bobinadora que está al término de la línea de laminado final, la banda caliente se lleva alrededor de un mandril expandible mediante rodillos especiales diseñados para enrollar (wrapper rollers). Después de unas 3 o 4 vueltas, estos rodillos se elevan y la banda recién formada se enrolla (bobina) alrededor del mandril, una vez que se termina la operación, el mandril se contrae y la bobina caliente todavía es transportada por un vagón portador hacia un almacén o una estación de confeccionamiento de flejes. Las bobinas pueden tener 2km o más de banda y hacerse a una velocidad de 20m/s o incluso más (BREF, 2001b).

Tren de acabado para el alambrón

Éste consta de bloques de laminación de hasta 10 juegos o pares de rodillos alternados horizontales con verticales, el material que se utiliza generalmente es acero templado o hierro colado, por lo que los rodillos están hechos de carburo para resistir el desgaste. Por lo regular se hacen calibres redondos y en menor proporción, ovales. Actualmente se llegan a velocidad de producción de 100m/s o un poco más (BREF, 2001b).

OTROS

Además de las etapas antes descritas, existen otros aspectos que intervienen en el laminado caliente que se mencionan por su importancia.

Transporte de piezas entre los trenes de laminación

Las mesas de rodillos dispuestas a lo largo de toda la operación de laminación en caliente sirven para este fin, consisten en cilindros metálicos macizos y/o huecos soportados por una transmisión individual o en grupos, propulsados por un sistema de engranes que los conecta con un motor, el que generalmente es eléctrico.

En algunas plantas, dado el volumen de producción, el tamaño (y peso) de las piezas y a cambios en el tren de laminación en caliente, la distancia entre el tren de laminado tosco y el de acabado no es suficiente para desacoplar ambos, por lo que se instalan

dispositivos de almacenamiento intermedio, sirviendo como “tanques de balance” absorbiendo los desajustes que se puedan producir por esta situación y permitiendo una operación continua en espacios reducidos (BREF, 2006).

Líneas de enfriamiento

Para tener un control adecuado de la temperatura en los trenes de laminado, se tienen “líneas” de enfriamiento que básicamente consisten en una serie de atomizadores, pantallas o flujos laminares de agua de enfriamiento, previamente acondicionada (BREF, 2001b).

Taller de rodillos

Los rodillos utilizados en el laminado caliente, son los instrumentos básicos de trabajo, éstos se deben de adecuar para cumplir con funciones específicas y bien definidas según el producto a elaborar. Esta tarea se realiza en una sección de la siderúrgica denominada así, en donde se aplican técnicas propias de un taller de mecanizado (BREF, 2001b).

En un taller de rodillos se incluye generalmente las siguientes áreas:

1. Zona de enfriamiento, en la que los rodillos se dejan al aire o son rociados con agua atomizada (de enfriamiento).
2. Zona de preparación en donde se desmontan y ajustan los amortiguadores, en algunos diseños esto se hace sin desarmarlos o desmontarlos.
3. Zona de limpieza que sirva para eliminar las incrustaciones y lubricantes que pudieran tener debido a su operación. Para lograrlo se recurre al vapor, uso de soluciones desengrasantes alcalinas y uso de solventes orgánicos.
4. Zona de mecanizado que tiene maquinas típicas de este tipo de talleres como tornos y desbastadoras que funcionan con un sistema de enfriamiento individual en las que el con impurezas se debe de tratar para separar de éste los lodos y las virutas generadas. (el líquido refrigera la zona y/o la pieza trabajada, arrojándose a presión al mismo tiempo que las maquinas hacen su trabajo en un punto determinado).

Circuitos de agua en trenes de laminación en caliente

Como ya se ha visto, a lo largo del proceso de laminación caliente y otros procesos, se utilizan grandes cantidades de agua para enfriar directamente a los productos, los rodillos, máquinas cortadoras, bobinadoras y mesas de transporte. Además, los motores eléctricos, los hornos de recalentado, los cuartos de control, los equipos de generación de energía, instrumentos de medición y control de procesos se refrigeran indirectamente dadas las temperaturas de trabajo. También se utiliza agua en el descascarillado y para el transporte y evacuación de la cascarilla. Esta agua, al estar en contacto con las máquinas y/o productos de acero, se contamina con óxidos de hierro en virutas y con restos de los aceites lubricantes que se usan en las máquinas.

Los sistemas más simples de alimentación de agua son los **abiertos** (sin recirculaciones), en ellos, el agua se toma de la fuente (la red, ríos, pozos, lagos, etc.) se hace fluir a través de la red de consumo y luego se regresa a la fuente original (o a algún otro cuerpo receptor). Actualmente, la exigencia ambiental hace que, al menos en la mayoría de los casos, las aguas de desecho contaminadas sean tratadas antes de su evacuación (BREF, 2006).

En los circuitos **semicerrados**, el agua se trata y reutiliza parcialmente, según la temperatura, los dispositivos de tratamiento de aguas son iguales a los de los sistemas abiertos aunque tal vez diferentes en el detalle. El agua de ciclo se mezcla con agua de repuesto antes de reingresar a la red.

En los sistemas **cerrados**, el agua se trata y no es evacuada, sino que se recicla de nuevo, solo reponiendo las pérdidas por evaporación y purga (3 a 5% aproximadamente), cuando se utilizan intercambiadores de calor el volumen de agua utilizada aumenta (BREF, 2001b).

Los sistemas que alientan el agua al proceso de laminación en caliente son, en general, muy complejos, en siderúrgicas integradas, esta red puede estar integrada a una mayor que maneja el agua de toda la instalación. Las diferencias y similitudes del agua utilizada en un proceso u otro, así como las características de la planta de tratamiento y acondicionamiento (de ser necesaria) determinan las características de dichos sistemas. En la siguiente figura se observa un ejemplo de un circuito de agua (BREF, 2001b).

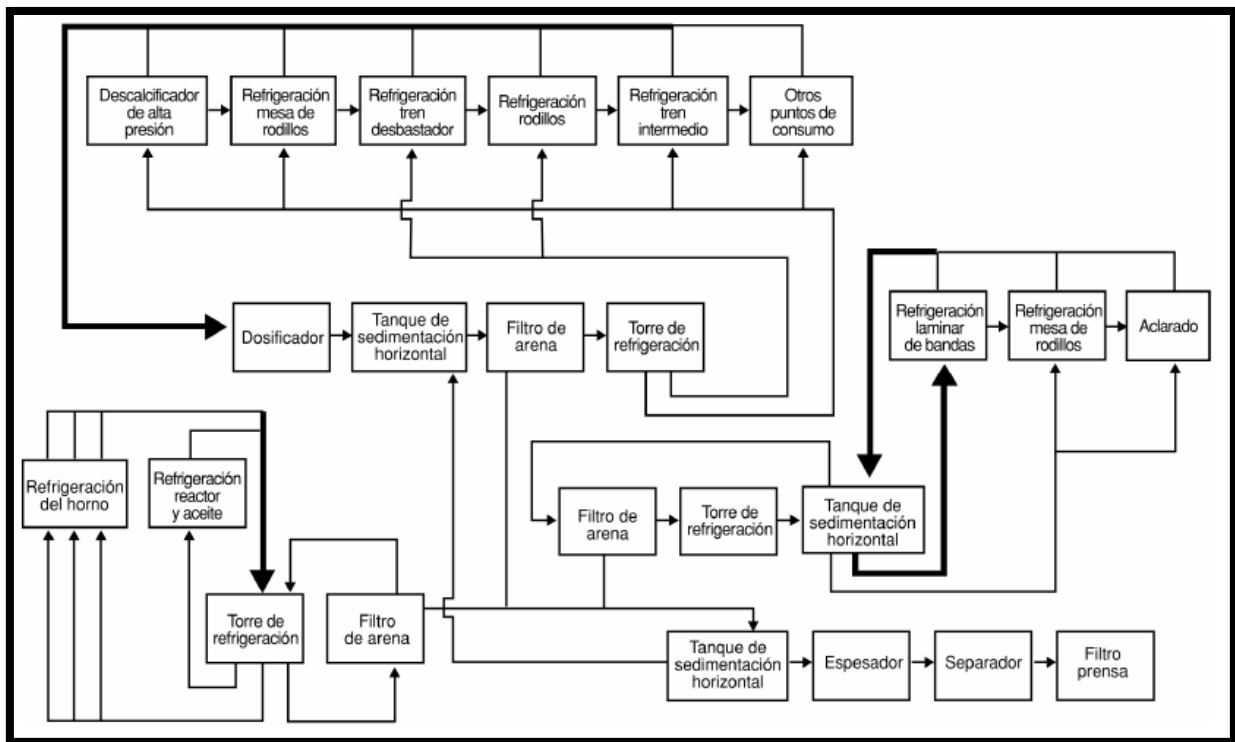


Figura 16. Ejemplo esquemático de un circuito de agua de una sección de

laminación en caliente de una siderúrgica, tomado de (BREF, 2006)

IMPACTO AMBIENTAL DE LA LAMINACIÓN EN CALIENTE

Dada la explicación del proceso de laminación anterior, se hace necesario, por la extensión del tema, hacer las divisiones de igual forma para poder abordar este tema. Los consumos y emisiones correspondientes a las diferentes etapas descritas se muestran a continuación.

EMISIONES ESPECÍFICAS DURANTE LA RECTIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL DE ENTRADA

Los consumos varían de una empresa a otra, de un material a otro y de un espesor a otro, los consumos reportados en la Unión Europea como típicos son de 5m³ de O₂ y 25MJ de propano por tonelada de acero procesado para el desbardado automático. No se tienen datos sobre el consumo de agua y generación de agua residual ya que por lo general se trata y recicla a otros procesos (BREF, 2001b).

Durante el desbardado se generan vapores corrosivos con una concentración elevada de partículas menores a una micra, la composición de este vapor, según las mediciones efectuadas en siderúrgicas de la unión europea es de aproximadamente 60mg/m³ de CO, 35mg/m³ de NO_x y de 230 a 3,000mg/m³ de polvos (BREF, 2001b).

La concentración en el gas lavado de salida es de 5 a 115mg/m³, equivalente a 1 a 80g/ton, los polvos colectados en filtros van de 1.5 a 3.25kg/ton de acero procesado. (todas las unidades son por tonelada de acero procesado) (BREF, 2001b).

En el desbaste se generan polvos de 30 a 100mg/m³ de aire y en algunas instalaciones menos de 30mg/m³ para aceros de baja aleación, para aceros de lata aleación hasta 50mg/m³. La producción de cascarilla en general en el desbardado, desbaste y granallado es de 0.2 a 35kg/ton de acero procesado aunque hay procesos que generan menos de 0.2kg/ton (BREF, 2001b).

Los polvos generados por el desbardado contienen principalmente óxidos de hierro con trazas de otros elementos presentes en la aleación. Los factores de emisión existentes varían significativamente entre el descostrado automático (30 a 60g/ton de acero procesado) o manual (3g/ton de acero procesado). Las concentraciones de diferentes elementos varían principalmente por el material trabajado (aceros de baja aleación y alta aleación) (BREF, 2001b).

EMISIONES ESPECÍFICAS DURANTE EL RECALENTAMIENTO Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los gases de combustión emitidos dependen del combustible utilizado principalmente, las siderúrgicas integradas utilizan mezclas de gases recuperados (el gas de alto horno, el gas de BOF, de coque entre otros) y gas natural en hornos de recalentamiento continuo, por lo que es difícil tener factores de emisión (BREF, 2001b).

El consumo de energía varía de 1.1 a 2.2GJ/ton, la emisión de polvos va de 1 a 10g/ton correspondientes a 4 a 20mg/Nm³, la emisión de NOx depende del combustible utilizado y del tipo de quemador, la emisión más representativa de siderúrgicas es de 80 a 360g/ton correspondientes a 200 a 700 mg/Nm³, los quemadores convencionales producen de 80 a 360g/ton, los de bajos NOx de 150 a 500g/ton y los regenerativos de 1,000 a 4,000g/ton, las emisiones de SO₂ están entre 0.3 y 600g/ton que corresponden a 0.6 a 1,300mg/Nm³ y son totalmente dependientes del azufre en el combustible, las emisiones de CO van de 5 a 850g/ton correspondientes a 100 a 170mg/Nm³, los hidrocarburos totales emitidos (usando gas de AH y G.N.) están entre 0 y 6g/ton (de acero procesado) (BREF, 2006).

La cascarilla generada varía según el tipo recocido y este se ajusta en función del material y el tren de laminación siguiente, estando entre 0.5 y 47kg/ton de acero procesado (BREF, 2001b).

EMISIONES ESPECÍFICAS DURANTE EL DESCASCARILLADO

Este residuo se compone principalmente de óxidos de hierro como el FeO y el Fe₃O₄, con una composición exacta que varía aunque normalmente el contenido de hierro es cercano al 70% en masa sobre la base de material sin aceite y sin agua. También contienen alrededor de un 4.6% de hidrocarburos que va del 0.5 al 8.7%, si se tienen contenidos mayores se dificulta su reciclado a etapas anteriores (BOF, EAF etc.) (BREF, 2001b).

Los lodos generados en el descascarillado tiene de un 25 a un 65% de sólidos, 30 a 60% de agua y de un 2 a un 15% de aceite. La contaminación de la cascarilla con aceites, grasas y lubricantes depende del funcionamiento de las maquinas y su mantenimiento, además, las partículas muy pequeñas (menores a 63 micras) tienden a absorber más aceite y generar lodos más compactos que necesitan limpiarse antes de reciclar la cascarilla. El intervalo de generación de cascarilla sin aceite es de 12.7 a 16kg/ton y con aceite de 1.9 a 3.5kg/ton para la que si lo tiene (BREF, 2001b).

El agua residual del descascarillado inmediato después del recocido normalmente está libre de aceites, sin embargo la utilizada para este mismo fin pero dentro de un tren de laminación si lo tiene debido al contacto con equipos que lo portan, si el contenido de aceite es bajo, la cascarilla se separa por sedimentación y se reutiliza en el proceso (BREF, 2001b).

EMISIONES ESPECÍFICAS DURANTE LA LAMINACIÓN EN CALIENTE

La demanda de energía depende del diseño del equipo y del grado de deformación y temperatura de trabajo que se tenga, el consumo de agua depende del diseño del sistema y gestión del recurso/insumo, los circuitos cerrados tienen caudales de 11m³/ton como máximo, mientras que los sistemas abiertos los tienen de 11 a 22m³/ton. Las emisiones a la atmosfera incluyen polvos generados en los trenes de laminación y en la formación y manipulación de bobinas calientes. También hay

emisiones fugitivas de aceite de lubricación, ocurridas en los rodillos y otras partes de los equipos, las emisiones en general aumentan con la velocidad de laminación y con la superficie del producto a laminar. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Las demandas de energía por lo general van de 72 a 140kWh/ton, el consumo de agua va de 1 a 15.5m³/s, la emisión de partículas (óxidos y otros polvos) de 2 a 40g/ton que corresponden a 2 a 50mg/m³, los polvos atrapados en filtros corresponden a 100 a 7,600g/ton, las emisiones fugitivas de aceite se consideran despreciables en sistemas actuales bien operados y con mantenimiento adecuado, las aguas residuales generadas van de 0.8 a 15.3m³/ton (incluyen sólidos en suspensión y aceite), los subproductos metálicos como recortes, piezas rechazadas, escombros etc. generados van de 70 a 150kg/ton de acero procesado (BREF, 2001b).

Una parte de las grasas, aceites hidráulicos y lubricantes, necesarios para el funcionamiento adecuado de todos los equipos, acaban en el agua como residuos, a partir de ésta, se genera un total estimado de 300g/ton en el caso de productos planos y de 100 a 800g/ton en productos largos de hidrocarburos totales, emitidos a la atmósfera al mismo tiempo que el agua se evapora, por ejemplo, en superficies calientes. Todo en toneladas de acero procesado (BREF, 2001b).

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAMINACIÓN EN CALIENTE

La cantidad y tipo de agua a tratar depende del diseño de la planta de tratamiento, la cantidad total generada, las características de ésta y de las medidas o grado de tratamiento implementado.

El agua utilizada para la laminación en caliente llega a ser de hasta 22m³/ton de acero procesado, si no se cuenta el agua de refrigeración o si se considera que esta se recicla totalmente, se tiene un influente de 11m³/ton, el efluente generalmente tiene una concentración de SST de 20 a 1,065g/ton correspondientes a 5 a 100mg/L, una DQO de 22 a 65g/ton equivalente a 18 a 43mg/L, un contenido de hidrocarburos de 1 a 3g/ton que corresponde a 0.2 a 0mg/L, un pH de 7 a 8.5 y una temperatura de 11 a 30°C (BREF, 2001b).

Se tienen además concentraciones en mg/L de Cu, Zn, Cd, Al, Pb, Cr, Cr⁺⁶, Mn, Fe, Ni, Hg y cloro libre (BREF, 2006).

RUIDO EN LA LAMINACIÓN EN CALIENTE

Más que un aspecto ambiental, es uno de salud e higiene laboral, por lo niveles de ruido, es necesario tomar precauciones para proteger a los empleados cuando no es posible prevenirlo o reducirlo por otros medios (BREF, 2001b).

Las fuentes de ruido más importantes en la laminación en caliente están asociadas a la manipulación de productos, otras fuentes como el descascarillado a alta presión,

los ventiladores y sistemas de extracción de los hornos y operaciones de corte pueden llegar a ser importantes también. En una planta actual las emisiones son variables pero superan con factibilidad los 85dBA (BREF, 2001b).

ARRANQUE Y PARO DE OPERACIONES

Para este caso no representan un riesgo ambiental adicional, algunas instalaciones utilizan purgas de gas inerte en estas circunstancias para aumentar la seguridad de sus trabajadores en paros, arranques y accesos de mantenimiento (BREF, 2001b).

ADMINISTRACIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS GENERADOS

Además de los gases de combustión generados por los hornos de recalentado que dependen en buena medida del combustible que utilizan, la laminación en caliente genera varios tipos de emisiones y residuos sólidos que hay que tomar en cuenta (BREF, 2001b):

1. Residuos metálicos,
2. Cascarilla y viruta del desbardado,
3. Polvos del desbardado y de los molinos de laminación en sí,
4. Cascarilla de laminación (con residuos de aceite o sin ellos),
5. Lodos del tratamiento de agua,
6. Lodos del taller de rodillos,
7. Aceites y grasas lubricantes de desecho de equipos y máquinas.

Los residuos metálicos pueden incluir material rechazado (scrap), recortes de metal no útiles y otros de este tipo, por lo regular se reciclan a procesos anteriores (como al BOF o EAF).

La cascarilla, cuando tiene bajo o nulo contenido de aceites, se recicla, por lo general a la planta de sinterizado. Los lodos aceitosos con contenido de hierro se envían a un tratamiento previo al reciclado en la planta de sinterizado. Si es posible, la cascarilla se puede vender como subproducto a cementeras o a manejadoras (conocidas más coloquialmente solo como tratadoras aunque el tratamiento es una forma de manejo de residuos) de residuos que las procesan (básicamente a base de un tratamiento térmico) para obtener un producto rico en hierro de valor. Si el contenido de estos aceites (en el residuo) es mayor al 4.5%, no se necesita adicionar combustible (BREF, 2001b).

Los óxidos de hierro (povos) capturados en los sistemas de eliminación de partículas (del aire) se reciclan a la planta de sinterizado sin problemas, además de que se considera como una disminución de pérdidas y ahorro de materia prima y energía (BREF, 2001b).

Los aceites y grasas lubricantes gastados por los equipos en operación son recogidos en diversos puntos del proceso y utilizados como combustibles alternativos o mezclados con otros residuos para hacer combustibles formulados en el alto horno

o en la planta coquizadora. Para tal uso, puede necesitarse un tratamiento previo para eliminar el agua que contengan emulsificada. También se pueden utilizar para aumentar la densidad aparente del carbón procesado en plantas de coque (BREF, 2001b).

Las emulsiones de agua aceite formadas son separadas y el aceite reciclado para recuperar energía o si es posible, reutilizarlo (BREF, 2001b).

LAMINACIÓN EN FRIO

En este tipo de laminación, se modifican las propiedades de los productos laminados en caliente mediante la compresión con rodillos, sin recurrir al calentamiento previo, el espesor y sus propiedades mecánicas. La carga o material de entrada es el producto entregado por los procesos laminados en caliente, por lo general, en forma de bobinas. No todos los productos generados por la laminación en caliente pasan a la laminación en frío, solo aquellos que, según las especificaciones del producto (del cliente) lo requieren.

La secuencia de proceso de la laminación en frío depende del tipo de material manejado en particular. Para aceros de baja aleación y al carbono por lo general se sigue el siguiente orden (BREF, 2001b):

1. Decapado,
2. Laminación,
3. Recocido,
4. Templado por laminación,
5. Acabado.

Para los aceros de alta aleación, se requiere una etapa de recocido antes del decapado debido a la dureza de estos materiales, además de otros tratamientos térmicos y químicos superficiales durante el proceso, según las especificaciones del producto final.

Los productos principales son bandas (strips) y hojas o láminas, con un grosor entre 0.16 y 3mm, con acabado superficial de alta calidad y propiedades metalúrgicas muy bien determinadas para hacerlos adecuados a su uso (BREF, 2006). A continuación se describirá brevemente las etapas que se incluyen en el proceso de laminación en frío.

DECAPADO DE ACERO AL CARBÓN Y DE BAJA ALEACIÓN (EN BOBINA CALIENTE)

La superficie del material enrollado, por el proceso que ha llevado, se cubre de una fina capa de óxidos que es necesario eliminar, la forma tradicional de hacerlo es mediante un baño de una solución con ácido clorhídrico o sulfúrico a una temperatura entre 75 a 95°C, posteriormente se enjuaga con agua desmineralizada y se seca. El engrase se hace con un aceite especialmente elaborado para la laminación o con uno que protege de la corrosión (BREF, 2001b).

Las líneas de decapado pueden ser por lotes (usual para varillas, barras y tubos), semicontinua o continua, puede incluirse en la secuencia varios baños de ácido. Una línea típica de decapado, puede incluir las siguientes secciones. Cada etapa de decapado se puede hacer en forma continua o discontinua (como un proceso individual) (BREF, 2001b):

1. Equipo anti-rotura de bobinas, incluido en la desbobinadora para evitar que se produzcan “líneas de flujo” (líneas de Lüders) en el material (bobina) caliente que ingresa.
2. Equipo de soldadura para apoyar al decapado y propiciar un proceso constante con tiempos definidos (y finitos).
3. Equipo de enderezado y aplanado, previo a la inmersión de la lámina o banda al tanque de decapado, esto aumenta la efectividad de la solución ácida, permitiéndole limpiar la superficie más eficientemente.
4. Área de decapado químico, que frecuentemente cuenta con tanques profundos o de poca profundidad adaptados para tener flujo turbulento.
5. Área de enjuague para eliminar los restos de la solución ácida en la superficie.
6. Maquinas de corte, para obtener las dimensiones adecuadas o deseadas.
7. Inspección de los productos, revisando principalmente las dimensiones.
8. Engrase del producto, aunque en las plantas de línea combinada de decapado y laminación no siempre es necesario.

El decapado se hace actualmente en equipos totalmente cerrados o al menos, en tanques equipados con campanas, en ambos casos se extraen de forma continua los gases y nieblas generadas. También se equipan con bombas externas que permiten que la solución ácida se recircule en el tanque, generando turbulencia que ayuda al contacto de las sustancias, promoviendo las reacciones químicas deseadas. Actualmente existen líneas de decapado en grandes siderúrgicas que pueden procesar hasta 2.4 millones de toneladas por año (BREF, 2001b). La siguiente figura muestra, a manera de ejemplo, una línea de decapado continuo.

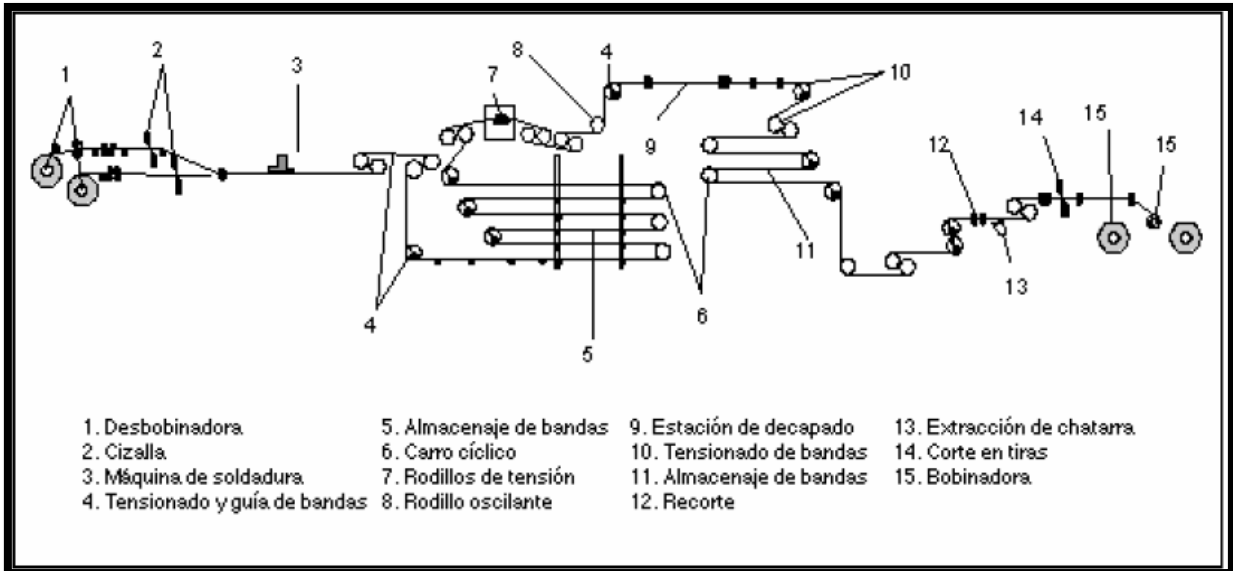


Figura 17. Esquema de una línea típica de decapado, presente en siderúrgicas integradas con procesos de laminación en frío, tomado de (BREF, 2006)

PRIMER RECOCIDO Y DECAPADO PARA ACEROS DE ALTA ALEACIÓN

Las bobinas de estos materiales que llegan aquí se les llama “de banda caliente” (“hot band coils”, no confundir con “strip”). Dado que tienen una fina capa de cascarilla, con óxidos sin cromo en su superficie y con mayor dureza, compadrados con los aceros de baja aleación, se hace necesario recocerlos antes de decaparlos (BREF, 2001b).

El **recocido para los aceros ferríticos** se hace en bobinas fuertemente enrolladas en una sección de tratamiento térmico discontinuo. Éstas realizan todo el ciclo de calentamiento, igualación de temperaturas y enfriamiento. La bobina se coloca en la base del horno, la cámara de éste se cubre (se cierra), se genera una atmósfera inerte (que no reaccione químicamente con el material) inyectando N_2/H_2 (por razones metalúrgicas). Los aceros ferríticos se recuecen a temperaturas de hasta $800^\circ C$. Los hornos utilizados generalmente son de gas natural o eléctricos (BREF, 2006).

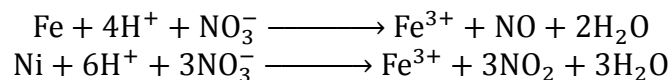
Para el recocido continuo de **aceros austeníticos**, la bobina de desenrolla y el material se pasa por uno o más hornos de tratamiento térmico y usan gases como combustibles, en este caso, se prefiere una atmósfera muy oxidante para formar una capa rica en oxígeno (óxidos) para tener un mejor decapado. Normalmente se alcanzan temperaturas de hasta $1,100^\circ C$. El material recocido se pasa a una sección de enfriamiento que puede incluir chorros de gas, aire o agua atomizada, a tiempos relativamente lentos, los detalles (tiempos, temperaturas, flujos de energía etc.) se determinan según el material, de tal forma que le eliminen tensiones internas y favorecer una estructura interna homogénea (Kucher, 1989).

El **descascarillado y decapado** es realizado posteriormente para adecuar la

superficie del acero para la laminación en frío. Para el descascarillado puede usarse el granallado (shot blasting) o disgregación de la cascarilla más gruesa. Para los procesos mecánicos se necesita un control fino para evitar que se afecte de manera no deseada a la superficie y la calidad del producto (BREF, 2001b).

La eliminación de la capa de óxidos más fina se elimina con el decapado, que generalmente incluye una solución con una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico a una temperatura de hasta 70°C. Las concentraciones utilizadas dependen del material a decapar, normalmente están entre 10 y 18% de ácido nítrico y de 1 a 5% de ácido fluorhídrico (BREF, 2006).

Las reacciones químicas que ocurren en el decapado son complejas y llevan a la eliminación de la cascarilla y óxidos de la superficie. La serie de reacciones dominantes y más estudiadas son las del ion nitrito, que da como subproductos importantes el NO y el NO₂, el caso del Fe y el Ni, típicos en aceros de alta aleación, sirve de ejemplo (BREF, 2001b), (Kucher, 1989):



El NO_x generado se solubiliza en el ácido, una vez alcanzado el límite de solubilidad pasa a la fase gaseosa y sale en los vapores, éstos pueden arrastrar pequeñas gotas de la solución formando nieblas ácidas. A mayor temperatura se produce más NO_x y se facilita la generación de vapores y nieblas.

Los iones metálicos formados en las reacciones anteriores reaccionan con el ácido fluorhídrico, lo que favorece la formación de complejos metálicos y acidificando la solución. Los dos grupos de reacciones consumen los ácidos, por lo que se necesita reponerlos para mantener la efectividad de la solución. Los complejos de fluoruro de hierro producidos no son muy solubles, a una concentración mayor de 40g/L se puede tener precipitación de éstos, lo que produce muchos lodos que se vuelven cristalinos y duros, que son un problema importante (Averner, 1989), (BREF, 2001b).

Las líneas de decapado de aceros de alta aleación son iguales en su estructura a los de baja aleación, con la excepción de que no necesitan ser engrasados después del baño de enjuague ya que son más resistentes a la corrosión que los primeros (BREF, 2001b).

LAMINACIÓN EN FRÍO

El material (barras, láminas, bandas) previamente decapado, se hace pasar por un juego de rodillos en molinos reversibles o en laminadores continuos dispuestos en línea. Los aceros con bajo contenido en carbono, de menor dureza, se laminan trenes de molinos tipo “tándem”. Éstos consisten en una serie de cajas de cuatro a seis rodillos superpuestos. El material entra al primer molino y conforme avanza se hacen sucesivas reducciones de espesor hasta llegar al calibre final (BREF, 2001b).

Para las bandas (strips) de **material con bajo contenido de carbono** se requiere de una emulsión de aceite en agua del 0.5 al 4% o del 10 al 20% para aplicación directa para:

1. Lubricar el proceso,
2. Enfriar el material, los rodillos y cilindros de apoyo,
3. Atrapar las partículas que se puedan generar.

Durante el proceso, es importante impedir la contaminación de la emulsión con aceite hidráulico, de lubricación (el aceite "Morgoil" es uno especial para los molinos de laminación y es común mencionarlo), grasas, agua de enfriamiento (usada para enfriar la emulsión de forma indirecta) por lo que un buen sistema de monitoreo de niveles de estos fluidos y variables de proceso (pH temperatura, equivalente ácido, conductividad etc.), control adecuado del sistema hidráulico y filtrado de la emulsión (con filtros magnéticos, de papel, etc.) se implementan a lo largo del proceso (BREF, 2006).

Para limpiar el producto y eliminar los restos de aceite (o jabón en algunos casos), se recurre al desengrasado químico y/o electroquímico, mismas que se ubican antes de los procesos de galvanizado con inmersión en caliente (hot dip galvanising) o de los de recosido continuo (BREF, 2006).

En la **laminación por lotes** los procesos se hacen de forma individual y secuencial, pudiendo haber almacenamiento temporal de producto intermedio. En la **laminación continua**, se acopla una línea de decapado con tanques de flujo turbulento a una de laminación en tándem, al que se le adiciona otro molino, en algunos casos, también se añade un acumulador y una máquina de soldadura antes del molino tándem, lo que permite la unión de material de diferentes bobinas y una alimentación realmente continua al tren de laminado. La implementación de sistemas de emulsión separados permite ajustar su composición para aumentar su efectividad en cada etapa, pudiendo utilizar un detergente o emulsión ligera (1% de aceite) en etapas finales. La laminación continua como la descrita mejora la productividad y es capaz de elaborar productos con una tolerancia de especificaciones mucho más estrecha (BREF, 2001b).

Para el caso de **aceros de alta aleación**, tras el primer recocido y decapado, el material se lamina en laminadores de cilindros con apoyos múltiples en varias pasas hasta lograr las dimensiones deseadas o hasta que el endurecimiento ocasionado por la deformación plástica haga necesario un recocido adicional (BREF, 2001b).

La reducción de espesor por medios mecánicos en frío (sin calentar) genera calor, el cual es retirado, en parte, por el aceite de laminación que se rocía sobre el material y los rodillos, éste también lubrica la operación. El aceite colectado (usado) se envía a una serie de intercambiadores de calor o a enfriadores de agua para volverlo a usar.

Los aceites utilizados son de tipo mineral, su uso requiere de un control estricto de las impurezas que puedan acarrear. Para lograrlo se cuentan con circuitos de limpieza

que tienen filtros con agentes de retención (de impurezas) o sistemas de filtro de pre recubrimiento con polvo. En algunas plantas se utilizan emulsiones parecidas a las descritas para aceros de baja aleación y al carbono, con las debidas precauciones “adicionales” para mantener su pureza. Debido a la energía aplicada en el proceso, se generan emisiones de nieblas de aceite en las máquinas laminadoras, las que se equipan con campanas para de extracción continua para controlarlas (BREF, 2001b).

RECOCIDO DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN Y ACERO ALEADO

Las etapas básicas del recocido son el calentamiento inicial hasta la temperatura de recocido (por arriba de los 650°C), mantenimiento de la temperatura de recocido y enfriamiento, este ciclo se puede hacer de manera continua o por lotes. El recocido tiene un impacto muy fuerte en las propiedades del material y los detalles de cómo llevarlo a cabo son cruciales, éstos se determinan mediante un análisis de material, la reducción de espesor llevada a cabo en la laminación en frío, las propiedades mecánicas deseadas y las de su superficie, el uso de un gas “protector” entre otros. Según el caso, los procesos continuos y discontinuos de recocido no siempre son intercambiables ya que no siempre se consigue el resultado deseado en ambos (BREF, 2001b).

El **recocido por lotes se lleva a cabo**, por lo general, después de una etapa de desengrasado, necesaria para eliminar los restos del aceite de laminación utilizado, para ello se pueden utilizar solventes, posteriormente se hace una limpieza con álcalis que se hace de forma similar al decapado (sumergiendo la pieza en una solución) utilizando fosfatos, silicatos alcalinos, hidróxido de sodio y carbonato de sodio anhidro entre otros. Algunas empresas también incluyen una etapa de limpieza electrolítica y otra con cepillos para eliminar los finos de hierro de la superficie. La lámina se desenrolla y se hace pasar por los diversos tanques, los que pueden incluir un sistema de agitación y/o recirculación para aumentar la turbulencia en el fluido. La solución desengrasante se recupera, se regenera (eliminar impurezas) y se vuelve a utilizar (Avener, 1989).

El material rebobinado se lleva al horno de recocido, que cuenta con una campana, la cámara de combustión (espacio entre la zona de calentamiento y la campana protectora) se calienta mediante la acción de quemadores de gas (u otro combustible), una serie de ventiladores promueven la circulación de gases y la uniformidad en la temperatura (muy importante). Se inyecta una mezcla de hidrógeno y nitrógeno a una concentración (de H₂) cercana al límite de explosividad aunque también puede ser 100% de H₂ en hornos de alta convección (BREF, 2001b).

Los restos orgánicos presentes en la superficie (siempre queda algo) se queman parcialmente y se destilan, generando CO, CO₂, H₂, FeOx y CH₄. El material se recalienta a 700°C aproximadamente, lo que genera una re cristalización completa. Para enfriar las bobinas se retira la campana, adicionalmente se puede acelerar un poco el proceso aplicando agua atomizada sobre la cubierta protectora. El tiempo de enfriamiento, considerando el peso de la carga y las condiciones de disipación de energía, puede ser de 2 a 7 días (BREF, 2001b).

Si es necesaria una velocidad mayor de enfriamiento, para obtener otras propiedades en el producto, se utilizan hornos de alta convección con atmósfera de 100% de hidrógeno que ofrecen mayor control en los tiempos de recocido y enfriamiento (BREF, 2006).

En el recocido continuo, los materiales de las bobinas se unen mediante soldadura en la entrada de la cadena de procesos, pasando por las etapas (procesos) de (Kucher, 1989):

1. Desengrase y/o limpieza con álcalis y/o electrolítica del material.
2. Calentamiento inicial y mantenimiento de la temperatura de recocido predeterminada.
3. Enfriamiento (con chorro lento de agua, por chorro de gas, por medio de rodillos, por envejecimiento y en ocasiones y/o en ciertas etapas del enfriamiento, por apagado con agua entre otros. Algunos materiales pueden requerir de una etapa de templado y revenido posterior que también se hacen en la secuencia continua.

El recocido continuo se realiza pasando el material (banda o strip sobre todo) por un horno compuesto por varias zonas de calentamiento inicial, cámara de recocido, zona de enfriamiento, zona de revenido y una segunda zona de enfriamiento. El acero se calienta entre 650 a 830°C y al pasar por las diferentes cámaras del horno, se ajustan las variables de proceso (flujos, temperaturas, velocidades etc.) para adecuarse a la curva de calentamiento predeterminada para que se forme la microestructura requerida, se eliminen tensiones internas y se homogenice la composición (puede variar para cada tipo particular de material) (BREF, 2001b), (Averner, 1989).

Como ejemplo de una secuencia típica de recocido de estos materiales se tiene la siguiente: desbobinado, zona de cote, máquina de soldadura, tren de limpieza (desengrasado, álcalis, electrolítico), torno de circulación (mover el material), carro de entrada (operación en bucle), sección de entrada, rodillo oscilatorio, cámara del horno, sección de enfriamiento, rodillo de salida, orificio de salida de la banda o lámina, máquina cortadora y bobinadora (BREF, 2001b).

Este proceso es mucho más rápido y en si puede incluir más que el simple recocido tradicional, algunas empresas con procesos como el descrito anteriormente tienen tiempos de residencia de unos 10 minutos, teniendo la ventaja de necesitar poco o ningún almacenamiento intermedio, mejores propiedades mecánicas y uniformes y una superficie más plana y limpia. El recocido continuo es adecuado para una buena parte de los aceros comerciales de alta resistencia, haciéndolo más barato ya que se facilita la recuperación de energía y la producción en serie (BREF, 2001b).

SEGUNDO RECOCIDO Y DECAPADO DE ACEROS DE ALTA ALEACIÓN

Antes del segundo recocido, se realiza el desengrase y limpiado de la superficie, igual que el ya descrito para aceros de baja aleación y al carbón, pasando el material

por una secuencia de tanques con las soluciones limpiadoras (desengrasante, de álcali, electroquímica, de enjuagues con agua desmineralizada etc.)

La ruta y tipo particular de recocido y decapado a aplicar lo determinan las especificaciones del producto final, por ejemplo, la especificación EN '2R' (de la Unión Europea) requiere de un recocido "brillante" con acabado de superficie y el '2B' de recocido y decapado (BREF, 2006).

El recocido brillante se realiza en horno eléctrico o de gas con una atmósfera inerte de N₂ y/o H₂. En ciclo continuo o por lotes, la forma de hacerlo es parecido a la ya explicada, lo que cambia son las condiciones particulares (tiempos, temperaturas, flujos) para llevar al material por la ruta de cambios de su estructura previamente identificados para el tipo particular de acero (Avener, 1989).

El material con acabado de superficie '2B' se hace en una línea de recocido continuo seguida de una de decapado como las ya explicadas, haciendo el recocido en atmósfera oxidante para favorecer el decapado posterior (BREF, 2006).

El decapado, a diferencia del primero descrito, no involucra una etapa de descascarillado por medios mecánicos por generar defectos superficiales, en todo lo demás es igual al ya descrito. Debido a la presencia de aleantes en los óxidos generados en el recocido, no en todos los casos se eliminan en una sola etapa de decapado en medio ácido, pudiendo necesitarse etapas adicionales de decapado electrolítico (usando sulfato de sodio por ejemplo) que se instala antes del decapado con mezcla de ácidos. Actualmente se prefiere utilizar sales neutras o ácidos como electrolito. Otras ventajas de la incorporación de decapado electrolítico son: la mejora la calidad de la superficie del producto final, un menor consumo de reactivos, de energía y la generación de menos desechos al mismo tiempo (aunque se requiere de una inversión mayor) (BREF, 2001b).

TEMPLADO POR LAMINACIÓN (TEMPER ROLLING)

Después del recocido, hay productos que requieren de una modificación posterior a sus propiedades, una forma común de hacerlo es mediante el templado por laminación, que básicamente consiste en someter a la pieza (banda o lámina) a un molino de laminación que reduce su grosor entre un 0.3 y 2%, la temperatura se mantiene inferior a los 50°C. Los rodillos utilizados en esta etapa tienen un acabado superficial muy detallado ya que se necesita controlar la rugosidad de la superficie del producto final, este tratamiento mejora mucho la "planeidad" (flatness) del producto. Al final, por lo regular se instala un sistema de limpiadores que, mediante un agente limpiador, elimine las impurezas que se pudieron haber generado (Avener, 1989), (BREF, 2001b).

A esta etapa se le conoce como "dressing" (revestido), como "skin pass rolling" (cambio/mejora de piel/superficie por rolado/laminado) o simplemente como "skin pass". La semejanza que tiene con el templado (tratamiento térmico) es que el material se hace más duro y mecánicamente más resistente, se puede hacer en un

solo paso o en varios, dependiendo de las características finales del producto (Kucher, 1989).

Esta etapa es prácticamente igual para aceros de baja y alta aleación, solo que en el caso de los últimos no se utiliza aceite de laminación y por consecuente no hay una etapa de desengrasado posterior aunque sí una de limpieza.

ACABADO

Comprende el corte de la tira y hacer bobinas adecuadas para los clientes (puede requerir soldadura o corte), el corte transversal y vertical para hacer láminas comerciales (o las solicitadas por el cliente), en ocasiones se incluye una sección de enderezado, muestreo, engrasado y marcado de los productos. En general se realizan las mismas operaciones para todo tipo de aceros aunque los de alta aleación no necesitan engrasarse (BREF, 2001b).

Los materiales que no tienen las especificaciones pedidas, se descartan aunque actualmente se prefiere, de ser posible, someterlas a tratamientos adicionales para corregirlos (el recocido adicional, enderezado, templado por laminación, trabajos de corrección con corte y soldadura son los más comunes) (BREF, 2001b).

Algunos productos, debido a la alta exigencia que se tiene para con sus propiedades, requieren de tratamientos de mejora adicionales, estos pueden ser térmicos, termoquímicos, químicos superficiales (como el decapado), electroquímicos de superficie, criogénicos, termo mecánicos entre otros. Algunas veces solicitados al fabricante, otras realizadas en instalaciones de los clientes para confeccionar su producto, otras una parte de los tratamientos los hace el fabricante de acero y otra el cliente (final y/o intermedio).

TALLER DE RODILLOS

Igual que el laminado en caliente, se tiene un taller que se encarga de preparar y darle mantenimiento a estas piezas de equipo que son claves para el proceso.

Una parte importante del mantenimiento es el desbaste, para hacerlo los rodillos se enfrían y lubrican con una emulsión especial, la cual se recupera, filtra y recircula a la estación de trabajo con una reposición periódica de la misma, los lodos generados y aceite usado son los principales desechos. Al desbastarlos, se les da una textura que es importante para su función, los principales sistemas de texturizado son (BREF, 2001b):

1. Texturizado por granallado (shot blast texturing): es una aplicación mecánica utilizando granalla a chorro de arena.
2. Texturizado por descarga electrónica (Electron discharge texturing): la pieza se sumerge en un baño de aceite y ahí recibe descargas continuas que moldean su superficie.
3. Texturizado por haz de electrones (Electron beam texturing): el rodillo se coloca en

una cámara de vacío y se proyecta en él un haz de electrones generados por un cañón catódico.

4. Texturizado por láser: parecido al anterior (vacío no estrictamente necesario) pero se utiliza un cañón de rayo laser.
5. Texturizado electrolítico: el rodillo se somete a un tratamiento superficial electroquímico, que genera una capa de este metal depositado sobre la del acero del rodillo. Más adelante se habla un poco más de estos tratamientos.

MANEJO DEL AGUA

En la laminación en frío, se consume agua para diferentes fines como ya se ha podido ver, los sistemas que la manejan son:

1. Agua de emulsión,
2. Solución de desengrase (sobre todo si es de tipo electrolítico),
3. Agua de refrigeración (de la sección de laminación, recocido, de transformadores y motores, de instalaciones de lubricación con aceite, del agua de enfriamiento).

Para estos usos se cuenta con plantas desmineralizadoras de agua y la adecuación particular que puede incluir un número considerable de reactivos como el hidrato de hidracina, anilina, H_2SO_4 , NaOH, tetrahidro-1,4-oxazina (conocido también como "morfolina"), etanolaminas, fosfatos, molibdatos, benzotiazoles, sales aminas de tolitriazol entre otros.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA LAMINACIÓN EN FRÍO

Dada la explicación del proceso de laminación anterior, se hace necesario, por la extensión del tema, hacer las divisiones de igual forma para poder abordar este tema. Los consumos y emisiones correspondientes a las diferentes etapas descritas se muestran a continuación.

TREN DE DECAPADO

Para el caso del **decapado con HCl y sistema de regeneración** se consume HCl (al 33%) entre 0.7 a 0.9kg/ton de acero, con sistema de regeneración y de 12 a 17.5kg/ton de acero sin este sistema, el uso de aceites anticorrosivos varía de 0.1 a 0.2kg/ton de acero procesado (BREF, 2006).

La energía requerida para este proceso requiere de 0.03 a 0.07GJ de vapor, 0.015 a 0.08 de energía eléctrica y de 0.04 a 0.1GJ de energía calorífica, agua desmineralizada entre 0.02 y 0.13m³, agua de refrigeración entre 0.5 a 0.8m³, todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Las emisiones correspondientes a esta operación son de 35 a 100m³ de gas residual, de 50 a 400m³ de aire residual, de 24 a 38m³ de gas proveniente de la regeneración del HCl (incluye polvo SO₂, NO_x, CO, CO₂, HCl, Cl) de 24 a 38m³, gas de los tanques de decapado de 24 a 400m³ que incluye alrededor de 0.258g/ton de

HCl (correspondientes a 1 a 30mg/m³), todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2006).

El HCl (solución al 20%) reciclado de 23 a 40kg, aguas residuales de 0.025 a 0.07m³, lodos de 0.043 a 1.2kg, Fe₂O₃ (en aceite) de 4 a 12kg, scrap de cabezas y colas de bandas (tratado como chatarra) 30kg, todo por tonelada de acero (BREF, 2001b).

El agua de enjuague del decapado se puede utilizar como agua de lavado de gases y como agua de proceso en la planta de regeneración, si no es el caso, se neutraliza con NaOH antes de desecharla. Los lodos son deshidratados en filtros prensa para luego desecharse. Hoy en día hay procesos que tratan y reciclan toda el agua utilizada, solo reponiendo las purgas y pérdidas por evaporación (BREF, 2001b).

Para el caso del **decapado con H₂SO₄ y planta de regeneración** se consume de 7 a 10kg de H₂SO₄ (96%), aproximadamente 3.84kg de agua de refrigeración, aceites anticorrosivos de 0.15 a 0.3kg, vapor para calentar el baño (o energía calorífica) de 0.05 a 0.1GJ, energía eléctrica para mover las piezas de 0.02 a 0.05G, todo por tonelada de acero producido (BREF, 2001b).

Con estos consumos se generan de 26 a 30kg de FeSO₄.7H₂O, se regeneran de 0 a 10kg de H₂SO₄ (al 20%), gas residual de 100 a 150m³, gases de decapado de 50 a 110m³ que incluye de 0.05 a 0.1g de H₂SO₄ (equivalente a 1 a 2 mg/m³) y SO₂ de 0.4 a 1g (equivalente a 8 a 20 mg/m³), gas de la regeneración del ácido (contiene SO₂ y H₂SO₄) de 70 a 90m³, aguas residuales de 0.2 a 0.5m³, residuos contaminados con aceite de 4 a 8m³, lodos aglutinados de 0.06 a 0.2kg "scrap" del recortado de cabezas y colas de bobinas (manejado como chatarra) de 37 a 45kg, todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Igual que el caso anterior, si las aguas de refrigeración del condensador (regeneración de ácido) y las de enjuague de decapado requieren ser evacuadas, se tienen que neutralizar (generalmente con NaOH). Los lodos se deshidratan en filtros prensa y se desechan (BREF, 2001b).

Para el caso del decapado con mezcla de HNO₃ y HF y planta de recuperación de ácidos se consume HNO₃ (al 70%) de 1.5 a 3kg, HF (al 70%) de 3 a 10 kg, granalla de 1.5 a 3kg, H₂O₂ (al 35%) de 3 a 10kg, vapor para calentamiento de la tina de 0.1 a 0.3GJ, todo por tonelada acero producido (BREF, 2001b).

Las emisiones y salidas de este proceso según los consumos anteriores son gases de decapado, HF de 0.2 a 3.4g, correspondiente a 0.2 a 17mg/m³, 3 a 4,000g de NO_x correspondientes a 3 a 1000mg/m³ y 1g/ton de SO₂ correspondientes a 1 a 10mg/m³, aguas residuales de 1 a 9m³, todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

LAMINACIÓN EN FRIO

De forma general, se consume aceite de laminación (con todo y adhesivos

necesarios) y agua desmineralizada para hacer la emulsión de la que se habló. Los aceites básicos utilizados contienen fracciones nafténicos y parafínicos incluso aceites grasos de origen vegetal. Para hacer una emulsión de aceite en agua, se añaden agentes tenso activos iónicos y no iónicos. Para reducir la fricción y el desgaste, se utilizan aceites sintéticos que contienen además sustancias específicas que inhiben la corrosión, agentes antiespumantes y otros para evitar la proliferación de organismos que causen problemas (Kucher, 1989), (BREF, 2006).

Los consumos de la **laminación de aceros de baja aleación en laminador tándem** en concreto son: agua de refrigeración de 5 a 6.5m³ (0.5m³ de agua circulante), agua desmineralizada de 0.0014 a 0.04m³, aceite de laminación de 0.3 a 2kg, de 0.01 a 0.03GJ de vapor, de 0.2 a 0.3GJ energía eléctrica y de 0.001 a 0.036GJ de energía calórica adicional. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Las emisiones generadas por este proceso con los consumos anteriores son: aguas residuales de 0.003 a 0.015m³, agua de refrigeración de 5 a 6.5m³ (0.5m³ de agua circulante), aire residual de 0.004 a 0.015m³, emisiones al aire: polvos aprox 96g equivalentes a 10 a 50mg/m³, 7g de hidrocarburos totales correspondientes a 5 a 20mg/m³, aceites de 0.6 a hasta 150g de aceites que equivalentes a 0.1 a 34mg/m³, estos están en estado líquido atrapados en pequeñas gotas. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Los residuos contaminados con aceite son alrededor de 2g, la emulsión gastada está entre 5,000 y 13,200kg aunque se recicla internamente la gran mayoría, los lodos producidos están entre 0.9 a 1.5kg. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Para el caso de los **trenes reversibles de laminación en frío para aceros de baja aleación** se tiene los siguientes consumos: agua de refrigeración de 3.2 a 3.5m³, agua desmineralizada de 0.02 a 0.06m³, aceite de laminación de 0.1 a 0.11kg de acero procesado. 240 a 245GJ de energía eléctrica y de 0.023 a 0.024GJ. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Las salidas y emisiones correspondientes a los consumos anteriores son: aire residual de 180 a 850m³, emisiones al aire, de 8.4 a 10.1g de HC correspondientes a 10 a 12mg/m³, aceite (atrapado en gotitas) de 0.4 a 150g correspondiente a 0.1 a 6mg/m³, agua residual de 0.006 a 0.07m³, lodos aglutinados de 1.9 a 2.0kg, emulsión (reciclada) 8.5 a 9.0kg. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Para el caso de **trenes de laminación reversibles para aceros de alta aleación** se tienen los siguientes consumos: agua de refrigeración de 20 a 35m³, aceite de laminación de 1.5 a 6L, filtros de aceite de 1 a 2 kg, energía eléctrica de 0.6 a 0.8GJ. todo por tonelada de acero procesado.

Las salidas y emisiones correspondientes a los consumos anteriores con: aire residual (extracción del tren de laminación) 180 a 850m³, que puede contener además, 50 a 80g de aceite (en gotitas) correspondiente a 10 a 20mg/m³, medios de

filtrado contaminados de 1.8 a 2.8kg. Todo por tonelada de acero procesado (incluyendo el peso de los contaminantes y el filtro) (BREF, 2001b).

RECOCIDO

Requiere de energía eléctrica para el calentamiento inicial del material (y del horno), para mover el material de un lugar a otro, para inyectar gases. También se requiere de hidrógeno y nitrógeno (3 a 7% de H₂ en N₂ o 100% H₂). Además se requiere de una etapa previa de desengrasado y limpieza alcalina y/o electrolítica para poder llevarlo a cabo, lo cual consume fosfatos, silicatos, sosa caustica, solventes orgánicos diversos (BREF, 2006).

Para el **recocido por lotes**, se tienen los siguientes consumos por tonelada de acero proceso: energía eléctrica de 0.06 a 0.12GJ/ton de energía eléctrica, de 0.62 a 0.75GJ/ton de energía calórica, agua de refrigeración de 5 a 10m³/ton de acero procesado. No se cuenta con información específica. Sobre la etapa de desengrasado y lavado alcalino o electrolítico (BREF, 2001b).

De acuerdo con los consumos anteriores se tienen las siguientes salidas y emisiones por tonelada de acero procesado: agua de refrigeración de 5 a 10m³/ton (se recicla toda), agua de desecho (aceitosa) de 2.04X10⁻⁴m³/ton, gas residual de 200 a 250m³/ton, emisiones al aire: SO₂ de 0 a 41g/ton, NO_x de 9 a 900g/ton de acero procesado (BREF, 2001b).

Para el **recocido continuo** se tienen consumos por tonelada de acero procesado de 0.173 a 0.239GJ/ton de energía eléctrica, 0.775 a 1,483GJ/ton de energía calórica y 0.119GJ/ton de vapor, 23.529m³/ton de agua de enfriamiento, más gas inerte, más otros insumos cuyas cantidades no se tienen reportadas (aceites anticorrosivos, agentes de laminación, gas inerte etc.) (BREF, 2001b).

De acuerdo con los consumos anteriores se tienen las siguientes salidas y emisiones por tonelada de acero procesado: gas de horno de recocido (350 a 400m³/ton), emisiones al aire de SO₂ de 0 a 41g/ton a aunque se dan casos extremos de hasta 194g/ton, NO_x de 9 a 900g/ton, energía residual (recuperable) 0.037 a 0.078GJ/ton, agua residual 0.118m³/ton, lodos aglutinados de 0.18 a 0.47kg/ton de acero procesado (BREF, 2001b).

TEMPLADO POR LAMINACIÓN

Durante esta etapa, se consume una solución al 5% de agentes de laminación a base de nitritos. Se usa energía para calentar el agua y energía eléctrica para el trabajo mecánico hecho por la maquinas más el que usa el sistema hidráulico.

Los consumos específicos de esta operación constan de agua desmineralizada de 0.002 a 0.004m³/ton, agua de refrigeración de 1 a 4m³/ton, energía eléctrica de 0.02 a 0.15GJ/ton, concentrado líquido de 0.11 a 3kg/ton, aceite anticorrosivo de 0.04 a 0.05kg/ton (BREF, 2001b).

Con estos consumos se tienen salidas y emisiones por tonelada de acero procesado de: aire residual de 1 a 100m³/ton, agua residual de 0.002 a 0.004m³/ton, residuos aceitosos de 6 a 7.5x10⁻⁵m³/ton, lodos aglutinados de 2 a 4kg/ton, emisiones fugitivas de aceite de 4 a 5X10⁻⁵m³/ton de acero producido (BREF, 2001b).

ACABADO

Durante esta etapa se consume, por tonelada de acero procesado: agua de enfriamiento de 0.5 a 0.7m³/ton, de 0.2 a 0.4kg/ton, tinta de impresión de 0.5 a 80g/ton, plástico transparente 80 a 90g/ton, papel de 9 a 80g/ton, papel VCI de 1.5 a 1.7g/ton, flejes de 0.05 a 0.06m³/ton, madera de 950 a 1,050g/ton, energía eléctrica de 0.02 a 0.04GJ/ton de acero procesado (BREF, 2001b).

Con estos consumos se generan salidas y emisiones por tonelada de acero procesado, de residuos contaminados con aceite de 1.4 a 1.6X10⁻⁴m³/ton y de 25 a 40kg/ton de chatarra (BREF, 2001b).

TALLER DE RODILLOS

La principal necesidad de éste es el agua y fluido de desbaste para preparar emulsiones frescas. Las salidas son los lodos y la solución utilizada en los trabajos. Concretamente los consumos son: agua de refrigeración variado, emulsión de desbaste de 0.4 a 80g/ton, granalla de 40 a 50g/ton, aceite soluble de 5 a 6g/ton, sales de cromo (PRETEX) de 2 a 3g/ton, ácido crómico (en condensado para prepararlo) de 140 a 160g/ton. Todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

Las salidas y emisiones, por tonelada de acero procesado, de este taller son residuos de gas de 25 a 70m³/ton con polvo de menos de un mg/m³ y cromo de menos de 0.1mg/m³, lodos de desbaste de 0.1 a 0.2kg/ton, material de desbaste (muela) de 0.9 a 1g/ton, emulsión residual de 0.035 a 0.08kg/ton, residuos aceitosos de 1.5 a 2X10⁻⁴m³/ton, polvo de granallado de 40 a 50g/ton, todo por tonelada de acero procesado (BREF, 2001b).

ADMINISTRACIÓN DE LÍQUIDOS Y FLUIDOS

A lo largo del proceso de laminación en frío, existen sistemas hidráulicos que manejan diferentes fluidos importantes para el funcionamiento adecuado de éste. Actualmente se pone mucho énfasis en los diseños de estos sistemas para evitar lo más posible las fugas y derrames de aceites, grasas, lubricantes, emulsiones y demás por cuestiones de proceso, de productividad y ambientales.

Los consumos de fluidos son: agua de refrigeración de 9 a 10m³/ton, agua desmineralizada de 0.05 a 0.12m³/ton, aceite hidráulico de 1.5 a 1.8g/ton, aceite de laminación de 0.45 a 2.2g/ton, aceite de lubricación de 0.2 a 0.9g/ton, energía eléctrica 0.2 a 0.45GJ/ton, vapor de 0.04 a 0.05GJ/ton, todo por de acero procesado

(BREF, 2001b).

Las salidas y emisiones correspondientes a estos consumos son: aceites utilizados con agua y sólidos de 3 a 5kg/ton, aceite utilizado con agua de 3.2 a 3.5kg/ton, aguas residuales de 0.05 a 0.12m³/ton, todo por tonelada de acero procesado. Del agua de refrigeración se puede reciclar toda solo reponiendo perdidas por purga y evaporación (BREF, 2001b).

Nota: Parte de la información de la administración de líquidos y fluidos está reflejada en la descripción de los consumos y salidas de otras partes del proceso de laminación en frío.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

El detalle del tratamiento de los efluentes generados en la laminación en frío son difíciles de obtener porque generalmente la planta de tratamiento toma los efluentes de varias partes del proceso, por lo que solo se hace mención de los efluentes que se envía a ella en términos generales. El siguiente recuadro resume esta información (BREF, 2006).

Recuadro 17. Efluentes de aguas residuales de trenes de laminación en frío, tomado de (BREF, 2006)

	Acero al Carbono Laminado En continuo	Acero al Carbono Laminado Reversible	Acero Inoxidable Laminado Reversible
Evacuación específica de aguas residuales	0 – 40 m ³ /t	0,6 m ³ /t	(~0) – 35 m ³ /t
Evacuación de aguas residuales del tratamiento de aguas residuales (excluida la refrigeración sin recirculación)	0 – 12 m ³ /t		
Total Sólidos en Suspensión ¹	7 – 120 mg/l 2,7 – 520 g/t	(~0) – 2210 mg/l (~0) – (~160) g/t	0 – 60 mg/l 0 – (~180) g/t
DQO ¹	10 – 5300 mg/l 5 – 220 g/t	15 – 100 mg/l 10 – 80 g/t	10 – 2000 mg/l 10 – 275 g/t

Nota: Fuente de datos [Estudio CE].
¹ Unidades cambiadas de g/m³ a mg/l

ADMINISTRACIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS GENERADOS

Además de los gases de combustión, generados por los hornos de recocido (y otros tratamientos térmicos en ocasiones) que dependen en buena medida del combustible que utilizan, la laminación en frío genera varios tipos de emisiones y residuos sólidos que hay que tomar en cuenta (BREF, 2001b).

1. El material descartado (scrap) puede reciclarse como chatarra a etapas anteriores de proceso, como los BOF o EAF.
2. Los lodos aceitosos, se pueden reciclar para aprovechar su energía y contenido de carbono en los altos hornos.

3. El sulfato férrico heptahidratado producido en el decapado, se puede recuperar, ya que es muy útil para elaborar complejos de hierro y cianuro, como floculante en plantas de tratamiento de aguas, para absorción de gases, como agente químico (insumo) en varios procesos, para la producción de pigmentos y para producir ácido sulfúrico.
4. El óxido férrico que se obtiene de la regeneración del ácido clorhídrico puede utilizarse como materia prima para producir materiales ferromagnéticos (reciclarse a la planta peletizadora o sinterizadora), para hacer polvo de hierro, para hacer pigmentos, vidrio y materiales cerámicos.
5. Los lodos del filtrado de aceite se pueden mandar a recuperación de aceite en plantas especializadas o usarse para recuperar energía (siempre y cuando sea factible hacerlo).
6. Los lodos de tratamiento de aguas por lo general van a un vertedero.

FUNDICIÓN Y MOLDEO DE HIERRO Y ACERO

El trabajo propio de una instalación de moldeo y fundición consiste en llenar un molde (hecho de arena, arcilla o metal) con un material derretido que se solidifica para obtener la pieza deseada. Este proceso es necesario para la elaboración de piezas complejas de gran tamaño y peso, o cuando el material (o aleación) es poco plástico y no puede ser forjado o estampado; cerca de 50% de las piezas metálicas se obtienen por fundición (Kucher, 1989).

Para la fundición de piezas de hierro se elaboran diferentes tipos de materiales (aleaciones), los principales son: hierro gris, hierro nodular, grafito esferoidal y hierro maleable. En cuanto al acero los productos que se obtienen pueden ser de: acero al carbono, de baja aleación, inoxidable, de manganeso, refractario (aleaciones a base de titanio, niobio, vanadio, molibdeno y tungsteno) y blanco, entre otras; las piezas elaboradas con estos materiales se utilizan en maquinaria pesada (para minería, válvulas, tuberías, partes de ferrocarriles y construcción) (Eusko Jaurlaritz, 2006).

La principal diferencia entre la fundición de hierro y de acero es la cantidad de carbono que contiene el material; el hierro tienen más del 2% de carbono y el acero menos 2% (Eusko Jaurlaritz, 2006). Por ejemplo, el hierro gris tiene entre 2 y 4%, el hierro maleable (también conocido como *blanco*) tiene entre el 1.8 y el 3.6%, mientras que el dúctil tiene entre el 3 y el 4%. Existen otros elementos importantes que le confieren propiedades a la aleación, como el silicio, manganeso, azufre y fósforo que se adicionan con diferentes propósitos y proporciones (USEPA, 2003).

Para los aceros también se tienen diferencias entre los porcentajes de carbón, por ejemplo el acero *bajo en carbón* tiene menos del 0.2%, el de *medio carbón* tiene entre el 0.2 y el 0.5% y el *alto en carbón* más que del 0.5%. Las propiedades finales de los materiales, son determinadas por la cantidad, distribución del carbono y composición química de la aleación, así como de la calidad del proceso de fundición, tasa de enfriamiento y tratamiento térmico posterior (USEPA, 2003). La figura siguiente describe esquemáticamente el proceso de fundición.

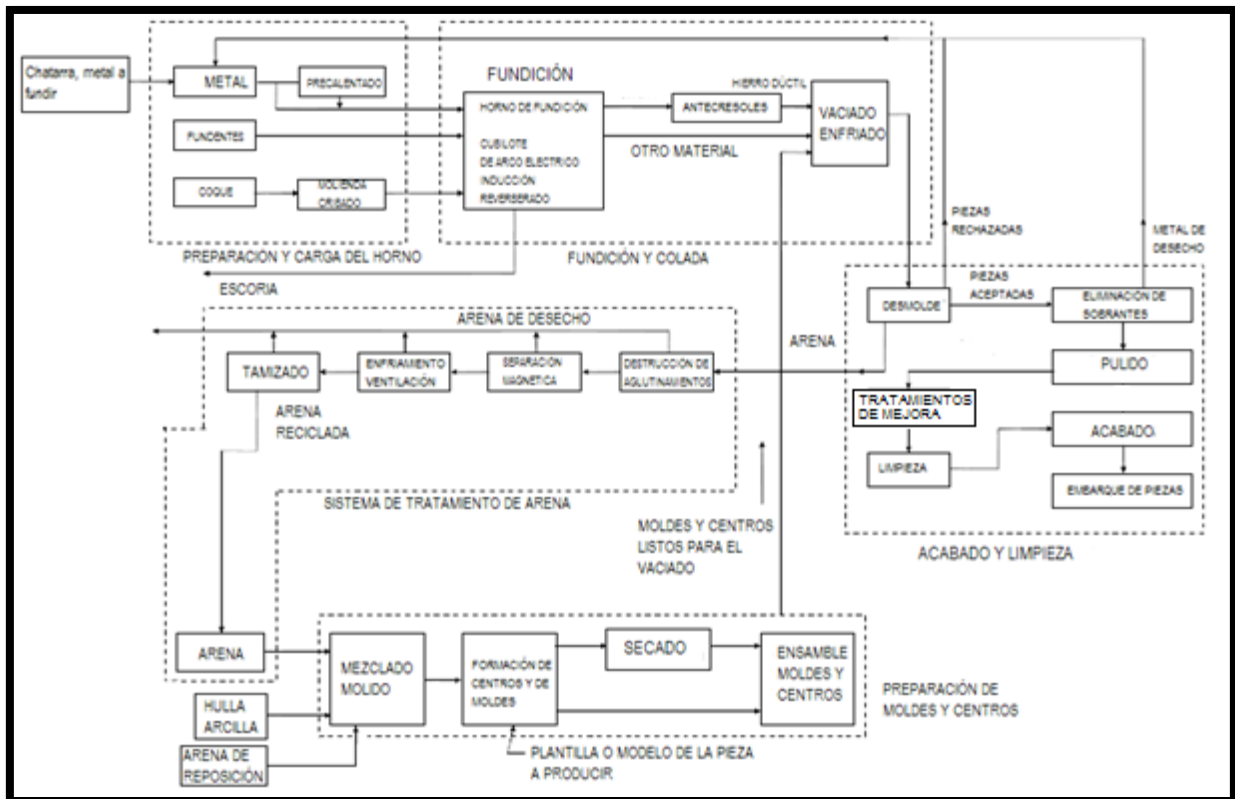


Figura 18. Diagrama de flujo general para una instalación de fundición y moldeo de hierro y acero. Modificado de (USEPA, 2003)

Limpieza y reciclado de arenas de moldeo

La **arcilla y la hulla** se **limpian** usando un separador magnético que elimina los restos de metal que pueda haber, después, se **mezclan** en la proporción específica para el producto deseado. A la mezcla de arcilla y hulla (compuestos carbonosos) se adiciona arena de reciclado y arena de reposición en proporciones preestablecida (Kucher, 1989).

Tipos de arenas de moldeo

Los materiales de corazones y moldes deben poseer resistencia mecánica, térmica (refractarios), permeabilidad a los gases y contractibilidad (docilidad) (Kucher, 1989). Existe una gran variedad de mezclas de moldeo, éstas se clasifican según su aplicación en:

1. Revestimientos, que sirven para recubrir las superficies para aumentar su resistencia al calor y para lograr una separación más fácil en el desmolde,
2. Rellenos, que sirven para dar forma y cuerpo al resto del molde,
3. Arenas unificadas que básicamente sirven para revestir y rellenar.

Dentro de la industria actual, se utilizan dos mezclas principales de arenas, las “químicas” y las “verdes”, además de otras mezclas específicas, como las arenas con aceite, con arcilla etc (Eusko Jaurlaritzza, 2006).

Las **arenas químicas** son muy usadas en la elaboración de corazones y en menor grado en moldes de fundición, son mezclas de arena común (dióxido de silicio) con aglomerantes químicos como: ácido fenólico, formaldehído, ácidos sulfónicos, silicato de sodio, ésteres orgánicos líquidos (diacetato y triacetato de glicerol), CO₂, uretano oleaginoso, resinas alquídicas, aminas diversas, diisocianatos metálicos poliméricos, poliisocianato, fosfato de aluminio, fosfato de aluminio ácido, óxidos metálicos diversos, resinas novolacas de formaldehído fenólico, estearato de calcio, alcohol furfurílico, cloruros, nitratos, urea, sales de cobre de ácidos sulfónicos aromáticos, metanol y HCN entre otros (Coz, 2001).

Estas mezclas generan resinas furánicas y fenólicas que producen una mejor calidad en las superficies fundidas, son una excelente alternativa para hacer moldes de piezas muy grandes o para series muy cortas de piezas comunes (Coz, 2001), (Kucher, 1989) y (Suárez, 2010).

Las **arenas verdes** son mezclas con arcilla, material carbonoso y agua, en donde la arcilla es el material aglutinante. La arena de óxido de silicio es el material más abundante (85 al 95%) aunque también se incluyen otras como olivino, zircón y cromomagnasita, en concentraciones del 4 al 10 (Kucher, 1989), mientras que el material carbonoso puede constituir del 2 hasta 4% de la mezcla (Suárez, 2010).

La arcilla da resistencia mecánica y plasticidad, la arena constituye el cuerpo del molde, los orgánicos (carbón bituminoso molido y diversos productos derivados del petróleo) forman una atmósfera reductora para evitar la oxidación del metal, también se usan almidones y celulosas para regular la expansión térmica de la mezcla. Las arenas de olivino (zircón) se utilizan para elevar el punto de fusión y la densidad de la mezcla. En caso de ser necesario se emplea cromomagnasita para disminuir la adherencia al molde (Suárez, 2010) y (Kucher, 1989).

Las arenas verdes pueden usarse como revestimientos, rellenos o ambas (unificadas) y son muy utilizadas en todo tipo de fundiciones.

Las **arenas con aceite** se utilizan para hacer los corazones, generalmente son de arena común con aceite vegetal o animal y dependiendo de las necesidades de la fundición a realizar, se pueden agregar otros insumos, generalmente petroquímicos.

Las **arenas con arcilla**, también utilizadas en los corazones, son de arena mezclada con arcilla como aglutinante, generalmente utilizada en corazones grandes sobre armazones (Kucher, 1989).

Mezclas de secado rápido que son otra alternativa utilizada en las mezclas de corazones, son las que utilizan vidrio líquido como aglutinante, estas no necesitan

compactación y utilizan una corriente de CO₂ para secarse, son utilizadas en la producción masiva de piezas(Kucher, 1989).

Formación de moldes y corazones

Para hacer una pieza de metal fundido es necesaria una placa de moldeo (molde a máquina), que sirve de molde primario o maestro a partir del cual se elaboran los moldes de arena. Para fabricar una placa de moldeo se necesita:

1. modelo de la pieza a fundir (exterior),
2. modelo de los corazones o machos (interior),
3. cajas de moldes y de corazones,
4. máquinas surtidoras de material de moldes,
5. material para los moldes.

El tamaño de los modelos debe exceder el tamaño de la pieza final en una proporción lineal de sus dimensiones, éste exceso puede variar dependiendo del material a utilizar aunque en la mayoría de los casos es igual o menor al 2.5%, también es necesario considerar los sobre espesores que la pieza moldeada debe de tener de acuerdo con los tratamientos mecánicos posteriores (Kucher, 1989).

Las cajas de moldeo, generalmente hechas en un material resistente (como acero), se emplean para formar el molde de arena, por lo regular se hacen por mitades, buscando hacer la división de tal manera que el desmolde sea lo más sencillo y rápido posible. La caja se rellena con la mezcla de arena y, de ser necesario, el material de revestimiento y se deja secar. Las máquinas surtidoras pueden ser de percusión, prensado al vacío y lanzadoras de área, dependiendo de los moldes y la mezcla. Este proceso se puede hacer de manera artesanal o en serie, para el secado es común utilizar aire caliente. Cuando es necesario, las cajas de moldes y corazones pasan por un proceso de secado para darles la consistencia necesaria (Kucher, 1989), (USEPA, 2003).

Una vez listos, los moldes y corazones se colocan todos juntos, a ciertos corazones se les adiciona un pegamento o cola para que permanezcan en su lugar durante el ensamblaje, los corazones y partes del molde por donde pasará aceite, se recubren con polvo de talco para impedir que la arena se pegue al metal y posteriormente puede contaminar el aceite. En la elaboración de piezas más complejas, en esta etapa se pueden adicionar piezas metálicas que serán parte de la pieza final (esto puede involucrar etapas adicionales en la fundición o antes de ella, según se necesite). Una vez que ha sido ensamblado el molde completo, se lleva al área de vaciado, donde recibirá el metal.

Otras formas de hacer moldes para fundición, también utilizados en ciertos casos son las siguientes (Suárez, 2010):

1. A la cera perdida. Se elabora un modelo de cera de la pieza a producir y se cubre con capas de suspensiones refractarias y aditivos diversos (conocidos

- como estucos), una vez que el material tiene consistencia se elimina la cera con calor,
2. Espuma perdida. En la mezcla de arena se añade espuma de poliestireno y una vez que el metal fundido cae en el molde el calor descompone y evapora la espuma, facilitando el desmolde,
 3. Yeso. Se utiliza este material para hacer moldes de piezas pequeñas y cuando la calidad en la terminación no es vital.

Selección y/o preparación de la chatarra

De usarse chatarra, ésta debe estar limpia, libre de polvos, otros materiales como vidrios, plásticos, papel etc. por lo que es necesario separarla adecuadamente y en el caso de sea difícil o imposible de separar mediante un proceso de selección y separación, se recurre a procesos de limpieza mecánica, hidrometalúrgicos y piro metalúrgicos aplicados a la chatarra previamente seleccionada.

Estos procesos muchas veces son necesarios para garantizar la calidad de la carga del horno de fundición, misma que puede tener exigencias mayores o menores según el producto final a elaborar. Por lo regular las empresas que hacen fundición y moldeo de metales no hacen este proceso, sino que compran la chatarra a empresas que se encargan de hacerlo y vender la chatarra “preparada” a las fundidoras y siderúrgicas.

Carga del horno

Consiste en colocar la chatarra pretratada y/o los lingotes de metal en un baño de metal fundido que se mantiene en el horno de fundición, la chatarra, mezclada con el material fundente, se coloca normalmente dentro del crisol de carga del horno, donde el calor del metal líquido que rodea la carga hace que se funda por conducción. Los materiales escoriantes se combinan con los contaminantes y flotan en la superficie, atrapando las impurezas. Es posible utilizar métodos mecánicos para sumergir la chatarra en el baño lo más rápidamente posible.

Si la materia prima está libre de impurezas (chatarra limpia, lingotes), los contaminantes emitidos en la preparación y carga son los de la fundición ya que la carga se hace generalmente en caliente, con material fundido en la base. La forma específica de realizar la carga del horno depende del tipo de horno utilizado, la cantidad de metal que se procese y de la tecnología aplicada en este tipo de instalaciones.

Fundición

Para obtener el material del que se hacen las piezas, se necesita una fuente del metal para fundir; ésta puede ser: lingotes, chatarra del metal o aleación, piezas rechazadas, rebabas y otros residuos derivados de la eliminación de sobrantes de la misma fundición. Adicionalmente, se necesitan fundentes que reducen el punto de fusión del metal y cuando es necesario, escoriantes para eliminar impurezas (Avener,

1989) y en ocasiones es necesaria una etapa de profundido o precalentado para adecuar el material al horno (USEPA, 2003).

El combustible del horno también varía con el tipo de horno y tipo de producto, ya que en algunos casos no sólo cede su energía sino se integra como materia prima al integrarse a la aleación. Para el caso del coque se tiene que moler para dar un tamaño de grano adecuado para facilitar la combustión y la integración a la aleación, posteriormente se carga mediante un sistema de grúas y/o bandas transportadoras al horno (Coz, 2001).

Las características del material a fundir y del producto deseado dependen y determinan el tipo del horno de fundición. Los hornos más empleados para este proceso son: de cubilote, de arco eléctrico, de inducción y de reverbero.

Nota: Algunas fundiciones también incluyen la producción de metal (hierro) a partir de minerales ricos en éste, utilizando carbón de forma similar a un alto horno en una siderúrgica.

Una vez que el metal líquido ha sido preparado, se saca del horno y pasa a la sección de **metalurgia secundaria**, que puede ser tan simple como un antecresol que sirve para mantener caliente el material fundido, mientras se elimina la escoria y se le añaden otros materiales para **refinarlo** (acabar de purificarlo) y afinarlo (formar la aleación), o más compleja, con etapas o procesos de eliminación de otras impurezas (como el desiliconado) y/o como los de metalúrgica secundaria (inyección de gas inerte para mezclado, desgasado con vacío etc.), ambos mencionados previamente en los procesos de una siderúrgica (SEMARNAT, 2007).

Como ejemplo de operación, en la elaboración del hierro dúctil se agregan pequeñas cantidades de magnesio y cerio y luego se utiliza gas argón para homogenizar la mezcla (Angel, 2004).

El material, refinado y afinado, está listo para pasar a la sección de vaciado para formar piezas moldeadas, aunque también con este material se pueden hacer láminas y tubos.

Vaciado y enfriado

El metal es vertido en el molde completo (con corazones los debidamente instalados), el conjunto de canales a través de los cuales el metal entra en el molde (bebederos) es de acuerdo a las dimensiones de la pieza a producir, el sistema de producción y el tipo de metal; en la parte superior de la pieza existen respiraderos para la salida de gases. En las piezas muy grandes se pueden formar cavidades por contracción (al enfriarse la pieza) por lo que se colocan depósitos de metal fundido para aportar material y evitar dichas cavidades (llamados "mazarotes"), para casos especiales, la colada se realiza en la misma área del moldeo. (Kucher, 1989) y (Suárez, 2010) y (Eusko Jaurlaritza, 2006). Posteriormente los moldes son enfriados naturalmente o en un túnel de enfriamiento (USEPA, 2003).

Desmolde

Una vez que las piezas fundidas han solidificado, el molde de arena es destruido mediante vibraciones mecánicas o con agua a presión; por lo general los corazones son retirados con un soplete de agua a presión entre 3 y 10 MPa en cámaras hidráulicas especiales (Kucher, 1989). Los mazarotes se envían a la zona de materias primas para fundirlos y reciclarlos (Eusko Jaurlaritza, 2006), mientras que las piezas que por alguna razón no pasan especificaciones son descartadas y enviadas a reciclaje de metal (USEPA, 2003).

Al desmoldar las piezas generalmente quedan imperfecciones (rebabas) y residuos de los moldes, soportes y ductos necesarios para lograr la colada. Estos deben ser removidos para lo que se utilizan sierras de banda, discos de corte abrasivo y/o cortadores de arco, y cuando es necesario técnicas de soldadura. Todo el metal eliminado en esta sección se regresa para ser fundido otra vez y reutilizado (USEPA, 2003) y (Eusko Jaurlaritza, 2006). En la subsección de “soldadura” se pueden ver más detalles de estas técnicas.

Una vez que las rebabas han sido eliminadas y se han reparado las imperfecciones la pieza se limpia, mediante el granallado o con arena abrasiva o con el pulido con discos, para recibir un tratamiento térmico que mejora las propiedades del metal (Coz, 2001).

Tratamientos de mejora de propiedades

Dependiendo de las especificaciones del producto a elaborar, la pieza puede recibir en planta de fundición, una serie de tratamientos térmicos, termoquímicos, químicos, y/o electroquímicos. La serie completa de estos tratamientos requeridos, por el cliente, los puede hacer el fabricante, el cliente (como las empresas automotrices) o parte y parte, según convenga. Más adelante, en la subsecciones (de este documento) correspondientes, se puede ver con un poco más de detalle algunos de los más comunes de cada grupo (los tratamientos químicos y electroquímicos de superficie se ven en la guía del sector de industria química).

Al terminar la serie de tratamientos (al menos los realizados en la planta del fabricante) las piezas pueden recibir uno de **acabado**, que puede mejorar sus características estéticas o simplemente constar de una limpieza y pulido posterior. Las piezas terminadas, se alistan para ser embarcadas y vendidas.

IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y MOLDEO DE HIERRO Y ACERO

Durante el **mezclado y molido** de materiales para moldes, pueden emitirse partículas a la atmósfera. Durante la **preparación de arenas** (o material de moldeo) se generan contaminantes como partículas, HCN, H₂S (olores), amoníaco (NH₃), benceno y diversos compuestos aromáticos policíclicos (derivados de aglomerantes y catalizadores de origen orgánico); algunos gases se liberan en el enfriamiento y

otros en la extracción de corazones para armar el molde completo (Eusko Jaurlaritza, 2006).

Durante la **preparación de corazones y moldes** puede haber emisiones de benceno, aromáticos policíclicos, amoniaco y ácido cianhídrico, que se encuentran en los moldes y pueden liberarse paulatinamente durante su uso (Eusko Jaurlaritza, 2006). Durante el **secado** correspondiente se emiten gases de combustión, así como benceno, aromáticos policíclicos, amoniaco y ácido cianhídrico, resultado de la curación de los materiales (Eusko Jaurlaritza, 2006).

Durante la **carga del horno**, si la materia prima está libre de impurezas (chatarra limpia, lingotes), los contaminantes emitidos en la preparación y carga son los de la fundición ya que la carga se hace generalmente en caliente, con material fundido en la base.

Si la preparación de la carga incluye procesos **piro metalúrgicos**, se producen contaminantes diversos como, polvos, cenizas sólidas (residuos orgánicos de combustión, metales pesados) y se emiten al aire, metales pesados (Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn entre otros), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono, dioxinas y furanos.

En la **fundición**, según el horno utilizado los principales contaminantes son; en un horno de cubilote son gases de combustión: CO₂, CO, SO₂, NOx, partículas de CaO, FeO, metales (Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg), SiO₂, MnO, dioxinas, furanos (se estima una emisión de 10 para cubilotes de aire frío o tambor rotativo sin lavador de gases, 4.3 si el cubilote es de tambor rotatorio y tiene filtro de tela, 1 si es de aire frío y tiene filtro de tela y 0.03 si es de aire caliente y cuenta con filtro de tela, todo µg I-TEQ/ton de metal líquido producido), COVs y compuestos aromáticos policíclicos (compuestos derivados del naftaleno, fenantreno, antraceno, pireno) (Eusko Jaurlaritza, 2006), (PNUMA, 2005).

Los principales contaminantes de los hornos de arco eléctrico son CO₂, CO y NOx, partículas que contienen óxidos de metales, dioxinas, furanos (niveles de emisión similares a los EAF antes vistos), COVs y restos de Ni, Cr⁺⁶, Pb, Cd, As (PNUMA, 2005), (Eusko Jaurlaritza, 2006).

Los principales contaminantes de los hornos de inducción son importantes cantidades de óxidos de metales, COVs, compuestos orgánicos poli cíclicos y restos de Ni, Cr⁺⁶, Pb, Cd, As, dioxinas y furanos (0.03 µg I-TEQ/ton de metal líquido producido) (PNUMA, 2005), (Eusko Jaurlaritza, 2006).

Los principales contaminantes de un horno de reverbero son CO, CO₂, NOx, dioxinas, furanos, HCl, HF, metales pesados (Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg) y COVs, aunque depende mucho del tipo de minerales fundidos usados; si no se utiliza chatarra como material de fundición, la lista anterior se reduce (Eusko Jaurlaritza, 2006).

Cuando los hornos poseen lavadores de gases, se reducen las emisiones a la atmósfera aunque se generan efluentes líquidos con metales, metales pesados, sales (Coz, 2001) y dioxinas y furanos no se dispone de suficientes datos como para hacer estimaciones adecuadas.

En los **antecresoles**, los contaminantes son del mismo tipo que en los hornos de fundición pero por lo general menos abundantes, éstos tienen menor tamaño y mejor control por lo que se reducen las emisiones y las fracciones de cada contaminante cambian.

Los gases generados en el **vaciado y enfriado** se extraen hacia una casa de filtros de bolsas para coleccionar los polvos (Suárez, 2010); estos gases pueden contener CO, HCN, amoníaco e hidrocarburos como: benceno, derivados de antraceno, fenantreno, pirenos (aromáticos policíclicos). También se generan residuos sólidos en las *cucharas*, conocidos como *negros de fundición*, que contienen residuos metálicos que pueden contener Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn entre otros, algunos de los cuales se pueden volatilizar (Eusko Jaurlaritza, 2006).

En el **desmolde** se pueden emitir partículas COVs, CO, HCN y amoníaco, presentes en los moldes y corazones, además de vapores del metal fundido como principalmente Fe y otros en menor proporción como el Cr, Zn, Mo, Ti, según la aleación (Eusko Jaurlaritza, 2006). Durante el **pulido** pueden emitirse partículas muy finas, PM10 (USEPA, 2003).

Durante la eliminación de sobrantes se pueden generar partículas, rebabas y virutas, de usarse técnicas de soldadura se generarán residuos atmosféricos propios de estas operaciones también. Los contaminantes derivados de esta operación, se pueden ver más adelante.

Los contaminantes de los **tratamientos de mejora** dependerán de qué tratamientos se apliquen en planta (en algunos casos ninguno), éstos se pueden ver más adelante. Del **acabado** se pueden generar polvos y partículas, en ocasiones residuos líquidos se generan también al utilizan soluciones de ácidos para **limpiar**.

CORTE DE METALES

El cortar metales es una operación que tarde o temprano se hace necesaria, según las características del material a cortar, se le aplica una técnica para de corte y formar la parte específica deseada, las formas más comunes de hacer estos cortes son:

Corte de flama (con oxígeno). La pieza se coloca en una plataforma, los dispositivos de flama se posicionan según el tipo de pieza a obtener, estas precalientan la pieza hasta su temperatura de ignición (el metal emite radiación, se torna rojo), posteriormente un chorro de oxígeno se enfoca en el área precalentada, oxidando el metal en un punto concreto, lo que causa un surco en él y posteriormente una línea

de corte, la pieza completa se refrigera para evitar deformaciones (Drweld, 2006) y (SEMARNAT, 2007).

Corte de plasma. En esta técnica se utiliza un arco eléctrico aplicado a una pequeña área de la pieza a cortar, el material se funde y un chorro de gas ionizado, formando un plasma, sale de un pequeño orificio a alta velocidad para retirar el material fundido, el arco opera entre 10,000 y 14,000°C (Drweld, 2006), generalmente la pieza también es asegurada a una plataforma mientras se trabaja en ella y refrigerada para evitar deformaciones (SEMARNAT, 2007), actualmente existen muchas variaciones de esta técnica que se aplican según sea necesario y se disponga de los medios para hacerlo (Drweld, 2006).

Corte por amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. Más conocida como LASER por sus siglas en inglés, con esta técnica no es necesario el contacto físico con la pieza de metal a cortar, ésta se asegura a una base y un dispositivo de laser (a base de CO₂, He y N) hace el trabajo (Drweld, 2006) y (SEMARNAT, 2007).

Corte con sequeta. Se aplica a piezas más pequeñas utilizando esta herramienta, se puede usar un fluido mientras se realiza la operación para evitar el calentamiento y sus efectos en la pieza (SEMARNAT, 2007).

Corte con guillotina. Se utiliza una máquina que mueve una cuchilla o elemento de corte (puede variar su configuración) para separar láminas en secciones predeterminadas aplicando presión en ellas por medio del elemento de corte, el trabajo se hace en seco y se utiliza más para piezas relativamente pequeñas (SEMARNAT, 2007).

Corte con agua. Se utiliza un dispositivo que aplica agua a gran presión en un punto específico de la pieza para seccionarla, ésta se sujeta a una plataforma la cual puede mover a la pieza o lámina para ajustar el corte, un ordenador controla los movimientos para lograr la precisión y exactitud, prácticamente no se desperdicia el material, se hace en frío, no presenta inconvenientes por materiales deflectivos y se pueden cortar espesores mayores si se añaden al agua materiales abrasivos, las presiones varían según el caso, teniendo un intervalo entre 300 y 3,500kg/cm² y las áreas de aplicación varían igual, entre 0.02 y 1.77mm² (CRC, 2011).

IMPACTO AMBIENTAL DEL CORTE DE METALES

Se pueden generar gases de combustión como CO, CO₂, NO_x y otros, según el combustible utilizado en el proceso, (como el gas natural y acetileno) partículas suspendidas de carbono y sílice, otros polvos, humos de metales como Fe, As, Pb, Cd, Zn, Al, Cr, Mn, Mb, Hg, Ni, Ti, entre otros, ozono, virutas, sobrantes y rebabas, mismas que pueden ser fundidas otra vez (Drweld, 2006).

Los contaminantes anteriores pueden pasar al agua en operaciones de refrigeración, lavado y mantenimiento.

SOLDADURA

La soldadura (welding) de manera general se puede definir como una serie de técnicas para juntar dos metales, en el punto de unión se funden estos para que en estado líquido se mezclen para formar la unión, existe otro tipo de soldadura (llamada "brazing" en inglés que se traduce al español también como soldadura) en la que se unen dos metales simplemente utilizando otro material de aporte que se funde y aplica en la junta para lograr unión de ambas piezas, éste se une a la superficie de las dos piezas a unir, distribuyéndose entre las hendiduras y cavidades por acción capilar (Bagur, 2002), (Drweld, 2006).

Las diversas técnicas de soldadura que existen hoy en día se clasifican según la forma de ser aplicadas y la cantidad de energía que consumen, algunas requieren solo del material de las piezas a unir pero otras necesitan de un material extra aportado para la unión, éstas, también llamadas juntas, pueden ser simples o complejas, dependiendo de las necesidades del trabajo, algunos tipos comunes de soldaduras encontradas en la industria son: la soldadura blanda, fuerte, por forja, con gas, con resistencia, por inducción, por arco eléctrico, por arco con hidrógeno atómico, por arco con gas protector, por vaciado, por fricción y por explosión, la temperatura alcanzada varía en cada una de ellas, desde los 400°C hasta más de los 6,000°C (Bagur, 2002).

IMPACTO AMBIENTAL DE LA SOLDADURA

Durante la soldadura se pueden generar gases de combustión como el CO₂, CO, y óxidos de nitrógeno, ozono, humos metálicos que pueden incluir metales como Cd, Cr, Mn, Zn, Hg, Ni, Ti, V, Pb, Mb, Al, Fe, Sn, Be e In además de partículas de carbono, sílice y en ocasiones de asbestos, también se pueden despedir fluoruros procedentes de los fundentes utilizados, argón y helio que no son tóxicos pero son asfixiantes en lugares sin ventilación, también es posible la formación de acroleína si hay grasas o aceites en las superficies a soldar (Bagur, 2002).

Los metales y partículas de carbono, sílice y fluoruros mencionados pueden pasar al agua en operaciones de refrigeración, lavado y mantenimiento.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Según el *Metals Handbook* el tratamiento térmico es: una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados, aplicadas a un metal o aleación en estado sólido en una forma tal que producirá las propiedades deseadas (Averner, 1989).

Al aplicar calor a la pieza y posteriormente enfriarla se reducen tensiones interiores, se hace más fino el grano que los forma, se forman compuestos diversos entre los elementos presentes en el material, se difunden estos compuestos, se mezclan mejor, se homogeneiza la composición y las propiedades a lo largo de la pieza y se definen estructuras cristalinas (Averner, 1989), (Kucher, 1989) y (Bagur, 2002).

Previo a cualquier tratamiento de estos tipos, se debe garantizar que la superficies estén libres de todo tipo de contaminantes como virutas, polvos, restos de grasas y aceites, para hacerlo, se lleva a cabo un desengrase en donde se utilizan solventes como glicoles, keroseno, benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas, en forma de vapores o líquida (CNMA, 1998), (SULFINUZ, 2011).

Dependiendo del caso (por ejemplo, la exigencia de limpieza del tratamiento siguiente), serán las características de esta etapa, pudiendo ocurrir o no.

Para fabricar una pieza o parte de metal, es común realizar diversos tratamientos en serie, unos para preparar la pieza y otros para modificar sus propiedades, la determinación de la cadena de tratamientos debe hacerse cuidadosamente para evitar problemas como hipocalentamiento (que ocasiona falta de dureza), sobrecalentado (produce fragilidad), requemado (forma óxidos y no se puede corregir), oxidación y descarburación entre otros. Cada uno de los tratamientos requiere de diferente equipo; los hornos que se usan pueden ser de cámara, mufla o de baño, estos últimos, muy comunes, emplean un fluido para conducir el calor como aceites, sales fundidas, agua etc., pueden utilizar combustibles fósiles o electricidad. Algunos de los tratamientos térmicos más comunes (además del recocido) son los siguientes:

El **austenizado** (primera parte del revenido austenítico) se aplica a piezas de hierro dúctil, consiste en calentar la pieza hasta una temperatura ligeramente menor a la crítica que comúnmente es de 875 a 925°C según la aleación usada, mantenerla por un período de tiempo según las características del material (2 a 4 horas generalmente), para luego apagarlo (enfriarlo rápidamente) a la temperatura de la segunda etapa, usando agua o aceite (Interempresas, 2007).

El correspondiente revenido (segunda etapa del revenido austenítico) se puede llevar a cabo entre 400 a 450°C o 235 a 350°C (son comunes los dos casos anteriores), posteriormente se mantiene el material a la temperatura seleccionada por un tiempo según el material y las propiedades a obtener (usualmente de 1 a 6 horas) para después enfriarlo lentamente a temperatura ambiente, la primera combinación produce materiales de alta ductilidad y alta resistencia con una dureza intermedia, el segundo da como resultado una muy alta resistencia, excelente dureza pero una ductilidad menor (Interempresas, 2007).

También se utilizan aleantes como el Cu, Ni y Mo (de usarse, se necesitan, al menos 4 horas a la temperatura de revenido) para mejorar aun más estas propiedades, el Mn se evita ya que genera segregación, durante el tratamiento se debe de controlar muy bien los tiempos y cambios de temperatura para evitar la formación de perlita (Interempresas, 2007).

La austenita es una “solución” sólida de carbono en hierro γ , tiene una estructura de cristal cubico con centro en las caras y presenta una mayor solubilidad para el

carbono que la ferrita común, llegando a un máximo de 2.11% a 1148°C y 0.8% a 723°C, puesto que los átomos de carbono se mezclan mejor en el entramado de la austenita, el material adquiere un granulado (austenítico) que le da las propiedades arriba mencionados (Ashby, y otros, 1992), (Interempresas, 2007).

El **templado** se diferencia del austenizado en que la pieza se calienta a una temperatura ligeramente por arriba del punto crítico, que esta usualmente entre 900 a 950°C según la aleación, o más si se busca eliminar carburos, mantener dicha temperatura por un periodo de tiempo según el material y las propiedades que se buscan para luego apagarlo (enfriarlo bruscamente) a temperatura ambiente para formar una estructura martensítica (Ashby, y otros, 1992).

La martensita es una forma alotrópica con centro en el Fe que se distingue por ser fase metaestable (no en equilibrio) sobresaturada de carbono en hierro α , su apariencia al microscopio es de láminas y agujas, es común que coexista con la perlita y la vainita, durante su formación compita con estas si las condiciones son adecuadas. Los aceros martensíticos son más duros y mecánicamente más resistentes, aunque menos dúctiles y más frágiles (Ashby, y otros, 1992).

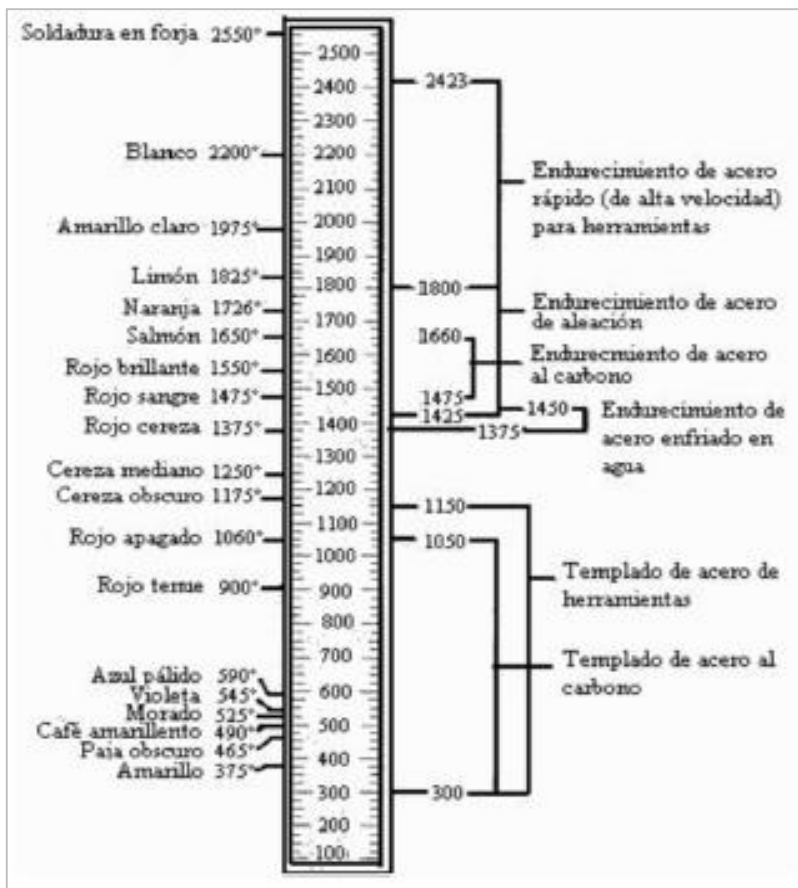


Figura 19. Intervalos de temperatura en los que se llevan a cabo algunos tratamientos térmicos (escala en °F)

Los dispositivos de temple incluyen tanques con volúmenes grandes de líquidos para enfriar como agua, polímeros y aceites, también incluyen tanques de decapado y de neutralización (Kucher, 1989) y (Averer, 1989). En esta figura se indica la temperatura de trabajo de cada material, y el color de éste.

El **revenido** consiste en calentar el material a una temperatura menor que en el templado y posteriormente enfriarlo relativamente lenta, se suele trabajar entre 400 a

600°C durante 2 a 4 horas, se usa para complementar el templado. Se utiliza agua y/o aceite. Para mejorar las propiedades se pueden utilizar aleantes como el Cu, Ni, Mn, Mo. El revenido disminuye la fragilidad del material templado y conserva buena parte de la resistencia mecánica obtenida en este último, además de mejorar la ductilidad (Ashby, y otros, 1992).

Otra operación metalúrgica que se da a manera de tratamiento consiste en el chapado por inmersión en metal fundido, en ellos la pieza se sumerge en algún metal de protección (como el zinc que es muy usado para estos tratamientos) a una temperatura de 450°C, ambos metales se unen en la superficie formando una capa que es mucho más resistente a la corrosión. Antes de este tratamiento la pieza se limpia con solventes o soluciones alcalinas, luego se trata con HCl para eliminar incrustaciones, luego se decapa con NH₄Cl y Zn de 65 a 80°C para luego sumergirse en Zn a 450°C por 4 o 5 minutos. Posteriormente la pieza se enfría por lo general bruscamente con agua o aire (PNUMA, 2005).

Otros tipos de tratamientos de mejora aplicados a metales incluyen los termomecánicos, criogénicos y eléctricos, mismos que por ser menos frecuentes, no se detallan en el presente documento.

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Durante la **limpieza** previa de las piezas pueden generarse COVs provenientes de los solventes utilizados como pueden ser glicoles, keroseno, benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas. (CNMA, 1998), (SULFINUZ, 2011), también puede haber restos de virutas y grasas provenientes de la pieza, estos muchas veces se quedan en los residuos de solventes, mismos que deben de ser retirados para reutilizarlos (CNMA, 1998), (SULFINUZ, 2011).

Propiamente en **tratamientos térmicos**, se pueden generar partículas, restos del metal tratado (Fe principalmente), gases de combustión como el CO, CO₂, NO_x, SO_x, HCT como benceno, derivados del antraceno, fenantreno y pirenos, amoniaco, metales pesados (Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg) principalmente por el uso de combustibles que los contienen (cuando es posible, se prefiere el uso de gas natural, más limpio y práctico) y como ya se mencionó HCN en algunos casos (Kucher, 1989) y dioxinas y furanos, sobre todo si hay restos de cloro provenientes de los solventes o de alguna otra fuente (Eusko Jaurlaritzza, 2006).

En los tratamientos de galvanizado por inmersión en metal fundido pueden generarse dioxinas y furanos, por la presencia de cloro y las temperaturas de trabajo (PNUMA, 2005).

Los residuos líquidos pueden contener metales pesados, si se utilizan aceites para realizarlos, restos de ellos pueden acabar en las descargas de agua, si se usa agua o salmueras para los trabajos, pueden pasar al agua de descargas residuos de metales pesados y las sales.

Los residuos peligrosos pueden ser eventualmente, tambos de aceite gastado de los tratamientos térmicos aunque actualmente se procura utilizarlo las más veces posible y/o limpiarlo antes de tener que desecharlo.

TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Estos son aquellos que, además de los cambios producidos en la estructura del material (estructura cristalina, difusión de especies químicas, fases sólidas etc.) producen cambios en la composición química de la superficie mediante reacciones con diversos compuestos añadidos en el medio, usualmente requieren de un control de temperatura y se realizan en atmosferas con composición controlada.

Antes de aplicar un tratamiento de este tipo, se debe de asegurar que la superficie está limpia, primero se hace una **limpieza mecánica**, que consiste en aplicar a presión arena o bicarbonato de sodio y si es necesario, se lleva a cabo un **desengrase** la que se elimina residuos de aceites y grasas, utilizando gasolinas, solventes orgánicos como el keroseno, tricloroetileno, tricloroetano, cloruro de metileno y triclorofluoretano, aceites minerales y diversos glicoles, posteriormente se lleva a cabo un **enjuague** para eliminar los restos de los solventes utilizados (FUNDES, 2003c), (Interempresas, 2003).

El tratamiento busca aumentar la dureza de la superficie, dejando al resto del material ser más blando y más resistente mecánicamente, disminuir los esfuerzos de fricción, aumentar la afinidad de la superficie por los lubricantes (hacer que sean lubricadas con más facilidad), aumentar la resistencia a la corrosión, a la fatiga entre otros. Los tratamientos termoquímicos más comunes son (Ashby, y otros, 1992):

La cementación (C): Consiste en añadir átomos de carbono en la superficie para crear una capa superficial con mayor concentración de este elemento y por ende, más dura, se consigue al calentar al material (usualmente acero) hasta su temperatura crítica (entre 900 y 950°C) y ponerlo, en esa condición, en contacto con un material rico en carbono, los tres métodos para hacer este tratamiento son (Interempresas, 2007):

Por empaquetado, que consiste en meter a la pieza a un empaque o caja cerrada, hecha o al menos que en su superficie interior contenga algún material rico en carbono (carbón vegetal por ejemplo), en estas condiciones, los átomos de carbono migran a las capas superficiales del metal, el proceso dura entre 4 a 6 horas generalmente, una vez que el material está listo, se deja enfriar en la caja y después se tiene que volver a templar y revenir para evitar deformaciones y eliminar la tensión superficial producida, para esto, se coloca en una prensa para calentara hasta 800 a 845°C y se apaga en agua o aceite, después se reviene de nuevo a una temperatura menor de entre 400 y 600°C aproximadamente para enfriarse lentamente, se obtienen capas material carburado hasta de 0.4 mm (Interempresas, 2007).

En baño líquido. La pieza se sumerge en cianuro de sodio o de potasio fundido a

845°C por 15 a 60 minutos, para después enfriar rápidamente (apagar) en agua con sal, después se reviene de nuevo a una temperatura menor de entre 400 y 600°C aproximadamente para enfriarse lentamente, se han logrado capas de hasta 0.75mm (Interempresas, 2007).

Con gas carburizante. La pieza se coloca en una cámara en donde se introduce gas caliente, comúnmente se utiliza metano o mezclas de hidrocarburos sin oxígeno, (entre 900 y 950°C) y dejar la pieza expuesta por un tiempo que varía según el caso, después, se corta el flujo de gas y se deja enfriar la pieza, posteriormente la pieza se temple a 760°C y se apaga en agua con sal, después se reviene de nuevo a una temperatura menor de entre 400 y 600°C aproximadamente para enfriarse lentamente, así se logran espesores de hasta 0.7mm (Interempresas, 2007).

Nitruración (N). Consiste en introducir a la superficie de la pieza (usualmente de acero), nitrógeno atómico, con el fin conferirle mayor dureza, resistencia a la corrosión y a la fatiga, se utiliza en piezas que van a ser sometidas a esfuerzos de fricción grandes y a cargas constantes y grandes.

Para llevar a cabo este tratamiento termoquímico, se introduce la pieza en un horno, luego, se saca el aire y se introduce amoníaco para luego calentarlo a unos 500°C, el amoníaco se descompone en nitrógeno e hidrogeno, este último se queda en la parte superior y el nitrógeno abajo, en contacto con la pieza, en la cual se empieza a adsorber (Millan Gomez, 2006).

Igual que el caso anterior, se necesita dejar enfriar la pieza para luego “templarla”, aunque a una temperatura menor a la crítica (como en el templado convencional), 760°C y enfriarla en agua con sal, después se reviene de nuevo a una temperatura menor de entre 400 y 600°C aproximadamente para enfriarse lentamente (Millan Gomez, 2006).

También es posible llevarla a cabo mediante excitación eléctrica, la pieza se mete a una cámara con atmosfera de amoníaco, la pieza a nitrurar se conecta a la corriente y funciona como cátodo, al aplicar una diferencia de potencial de entre 300 a 1000V los iones de nitrógeno van hacia ella, en este estado (iones) reaccionan fácilmente en la superficie, incluyéndose en ésta, formando nitruro de hierro. Esta técnica es muy lenta (1mm por cada 100 horas de tratamiento) aunque no es necesario del templado posterior y es posible proteger partes de la pieza de la nitruración al cubrir las con un baño de una aleación de estaño y plomo 1 a 1 (Millan Gomez, 2006).

Nota: El acero empleado en la pieza debe de ser especial para someterse a esta técnica, como el acero al Cr, Mo y V de alta o media resistencia y acero al Cr, Al y Mo de alta dureza, todos aptos para la nitruración (Millan Gomez, 2006).

Carbo nitruración (C+N). Consiste en añadir a la superficie de la pieza átomos de carbono y nitrógeno, para realizarlo la pieza se coloca en una cámara en donde se introduce gas caliente, comúnmente se utiliza metano, etano, amoníaco y monóxido de carbono, a temperaturas entre 650 y 850°C y dejar la pieza expuesta por un

tiempo que varía según el caso, después, se corta el flujo de gas y se deja enfriar la pieza, posteriormente la pieza se temple a 760°C y se apaga en agua con sal, después se reviene de nuevo a una temperatura menor de entre 400 y 600°C aproximadamente para enfriarse lentamente (Interempresas, 2007).

Sulfinitación (C+N+S). Consiste en añadir átomos de C, N y S a la superficie del material ferroso, para hacerlo, es necesario un estricto lavado de la pieza, seguido de un precalentamiento lento hasta los 450°C, luego se sumerge la pieza a un baño de sales a 565°C con estricto control de temperatura, para luego dejar enfriar la pieza y limpiarla con una solución especial a 100°C (SULFINUZ, 2011).

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

De realizarse la **limpieza mecánica**, se generan partículas suspendidas en el aire y residuos sólidos mínimos.

Durante el **desengrase** pueden generarse COVs provenientes de los solventes utilizados como pueden ser glicoles, keroseno, benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas (CNMA, 1998), (SULFINUZ, 2011), también puede haber restos de virutas y grasas provenientes de la pieza, estos muchas veces se quedan en los residuos de solventes, mismos que deben de ser retirados para reutilizarlos (CNMA, 1998), (SULFINUZ, 2011). Los residuos líquidos pueden incluir restos de solventes utilizados, los residuos sólidos pueden incluir solventes muy sucios o lodos provenientes de la limpieza por extracción de los solventes.

Durante los **tratamientos termoquímicos**, además de los gases de combustión como CO, CO₂, NO_x, SO_x, HCT como benceno, derivados del antraceno, fenantreno y pirenos, amoniaco, metales pesados (Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg), generados para proveer la energía necesaria, habrá restos propios de cada tipo de tratamiento como los siguientes:

Durante la **cementación con gases**, habrá residuos gaseosos que contengan hidrocarburos, hidrogeno generado, si se realiza en baños de cianuros (muy tóxicos), pueden contener vapores de éstos, de realizarse por empaquetado habrá CO adicional y hollín (Kucher, 1989), (Interempresas, 2007).

En la **nitruración** puede haber residuos gaseosos que contengan amoniaco e hidrógeno (Millan Gomez, 2006). En la **carbo nitruración** puede haber residuos gaseosos que contengan restos de hidrocarburos usados, amoniaco, hidrógeno y CO. En la **sulfinitación** se puede haber residuos líquidos con restos de las sales utilizadas (SULFINUZ, 2011).

Durante el **apagado y/o lavado** posterior de cualquiera de estas técnicas, pueden generarse residuos líquidos que contengan sales y metales pesados (Interempresas, 2007).

En este tipo de tratamientos hay que destacar que las empresas que lo hacen, por lo regular tienen equipos de control de emisiones adecuados para reducir al máximo o incluso eliminar ciertos contaminantes como sistemas de poscombustión, ciclones y lavadores de gases, plantas de tratamiento de aguas, entre otros.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS SUPERFICIALES

Los tratamientos químicos superficiales consisten en cubrir superficies metálicas (o plásticas), utilizando diversos metales como el cadmio, cobre, níquel, estaño, oro, plata plomo o zinc, mediante procesos químicos o electroquímicos.

En la industria en general, los procesos químicos y electroquímicos se aplican sumergiendo la pieza a tratar en “baños” sucesivos que van cumpliendo diferentes objetivos, al final de ellos están los que contienen las sustancias a depositar en la superficie, llevando a cabo una reacción química/electroquímica controlada. Al término de cada “baño”, antes de pasar a la etapa siguiente, las piezas son enjuagadas con agua para retirar los residuos que quedan y así, no interferir con las siguientes etapas.

Puesto que esta parte de la industria metalúrgica también pertenece al sector químico, la información sobre ella se puede consultar en la guía de ese sector.

METALURGIA NO FÉRREA

La industria de metales no férreos en el mundo, incluye una gran cantidad de materiales que tienen una importancia mayor que lo que puede verse en sus estadísticas económicas, de capital y manufactura, ya que los productos derivados de estos elementos son de gran importancia para la vida moderna y muchas de las innovaciones de alta tecnología en la industria de la informática, electrónica, transporte y telecomunicaciones son favorecidos e incluso en algunos casos dependen de ella (BREF, 2005).

Los metales no ferrosos que existen son más de 42, algunos de ellos son el Cu, Al, Zn, Pb, Cd, Sb, Bi, Au, Ag, Pt, Hg, Cr, W, V, Ta, Nb, Re, Mo, Na, K, Li, Sr, Ca, Mg, Ti, Ni, Co, C, además de elementos radioactivos y semiconductores que se tratan por separado (no en este documento) (BREF, 2005).

Esta industria tiene interconexiones con actividades propias del sector químico aunque existe una clara diferencia en los procesos que están asociados a la producción de estos metales y los que producen compuestos metálicos y de otros elementos como subproductos, ya sea durante la producción de un metal principal o en procesos de otro tipo. Por citar algunos ejemplos se tiene (BREF, 2005):

1. La producción de productos de azufre (azufre elemental y H_2SO_4 principalmente) a partir del contenido de este elemento en los minerales del metal o metales a extraer,
2. La producción de Zn a partir de vapores durante la producción de otros metales,

3. La obtención de CaSi y Si como subproducto de la producción de ferrosilicio,
4. La de Al₂O₃ a partir de bauxita como material intermedio de la producción de Al primario.

Los trabajos posteriores a la obtención de metales, refinado (purificación) y afinado (adición de aleantes con exactitud y precisión) por lo general incluyen una etapa en donde los metales están fundidos (en estado líquido caliente) y se hacen en las mismas instalaciones que también llevan a cabo la colada, moldeo y o formación de productos alargados (tubos, postes, etc.) puesto que estas actividades son similares (al menos al nivel de explicación necesario para este documento) no se repetirán en detalle, los únicos cambios que hay entre los distintos metales son las condiciones de operación, usando temperaturas menores a las vistas para hierro y acero (generalmente) (BREF, 2005).

Cada metal (no férreo) tienen propiedades y aplicaciones individuales, pero en el caso del aluminio y cobre, sus aleaciones se utilizan en más aplicaciones y tienen más importancia que los metales “puros”. Todos los metales (incluido el Fe) son inherentemente reciclables y pueden estar en ciclos de producción, uso y reciclado por siempre sin perder sus propiedades, por lo que contribuyen al desarrollo sostenible de manera importante, siempre y cuando se tomen las medidas adecuadas. Actualmente, no es posible diferenciar un metal refinado, obtenido con materias primas primarias (minerales) de uno obtenido por materias primas secundarias (chatarra) (BREF, 2005).

La estructura de la industria de metales no ferrosos varía de un metal (o grupo de metales en ocasiones) a otro, contrario al caso de los materiales ferrosos (aceros y aleaciones de hierro) no hay industrias que los manejen todos o al menos la mayoría, aunque si existen aquellas que producen varios. El tamaño de las empresas va desde las grandes, con miles de empleados hasta un gran número de empresas pequeñas, siendo en México una característica más acentuada que en otros lados del mundo (como en Europa, Canadá y Estados Unidos). La propiedad de estas empresas va desde grandes consorcios, empresas públicas y compañías privadas.

7Q, 7L, ND Y 68. OBTENCIÓN, FUNDICIÓN, REFINACIÓN, AFINACIÓN, COLADA, MOLDEO, LAMINACIÓN DE ALUMINIO Y ELABORACIÓN DE ELECTRODOS DE CARBONO

Es un material con una amplia gama de aplicaciones en las industrias del transporte, construcción, envasado, sistemas de distribución de electricidad (alta tensión sobre todo), electrodomésticos, metalmecánica y agrícola. Es muy ligero, buen conductor de electricidad y al estar expuesto a la atmósfera forma una capa de óxido en su superficie que lo protege de una mayor corrosión. Es muy reactivo, sobre todo en forma de polvo y se utiliza como insumo para producir otros metales mediante reacciones “aluminotérmicas”. La industria de este metal es la más reciente y la mayor de las correspondientes a metales no férricos, la fundición comenzó hace aproximadamente un siglo.

El **aluminio primario** se obtiene a partir de bauxita, que se convierte en alúmina (Al_2O_3), de 100 de bauxita se obtienen de 40 a 50 toneladas de alúmina, que a su vez producen de 20 a 25 toneladas de aluminio metálico. El **aluminio secundario** se obtiene de la chatarra, ésta se puede clasificar en “nueva” que se genera durante la producción de productos moldeados y forjados, y la de “reúso o vieja” que proviene de productos de aluminio que han llegado al final de su vida útil. Actualmente en el mundo se produce una cantidad mayor de aluminio secundario que primario aunque el aumento en la demanda hace necesario buscar nuevos yacimientos de minerales para este metal y ser más eficientes en el reciclaje.

Uno de los procesos típicos para producir **aluminio primario** es el Bayer, establecido plenamente en la industria. Por lo regular, se aplica en instalaciones cercanas a la mina, posteriormente a la extracción y concentrado de la bauxita, aunque por razones de logística y ahorro de energía este proceso también se encuentra en instalaciones que también hacen la fundición, colada y moldeo de piezas de este material (cerca o no de la mina).

Posteriormente la alúmina se somete a un proceso de reducción electrolítica para producir aluminio metálico, el más común es el conocido como “Hall-Heroult”, estos procesos se explican brevemente a continuación.

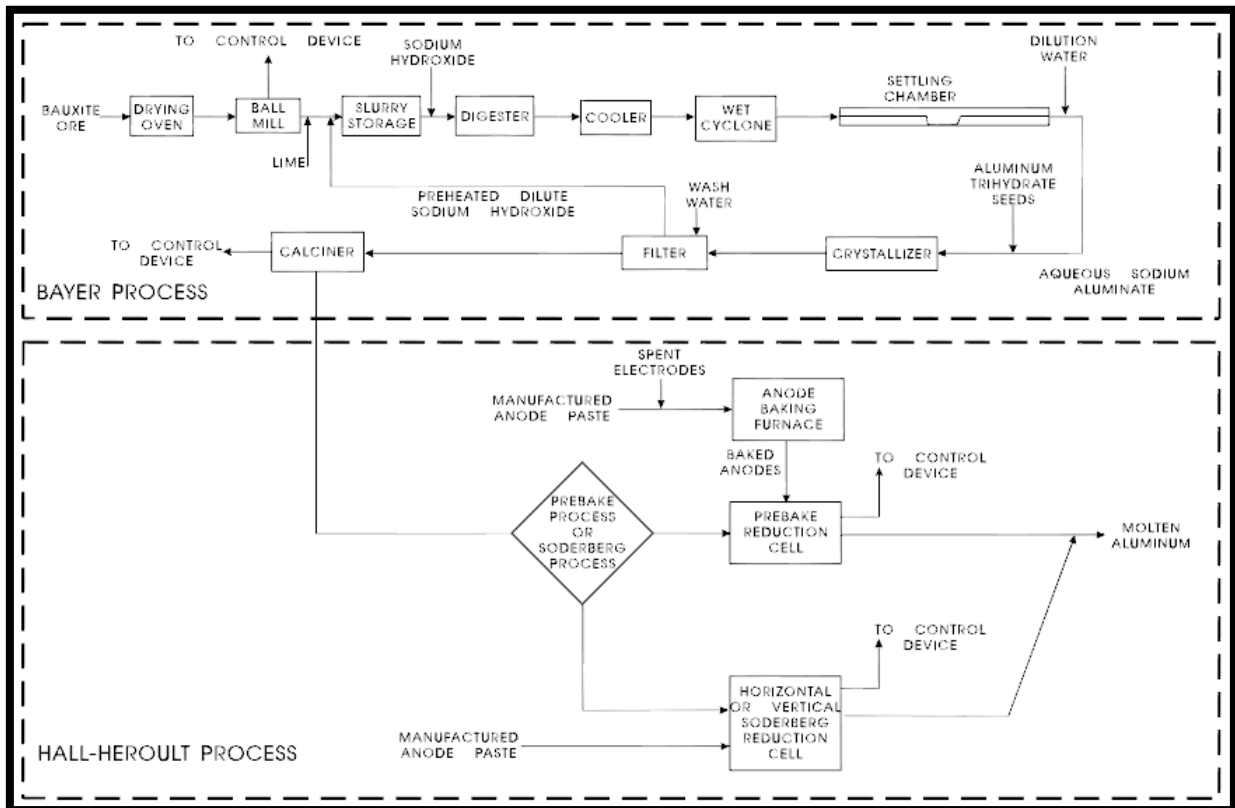


Figura 20. Proceso Bayer para obtener alúmina a partir de la bauxita, producto intermedio para obtener aluminio metálico primario y proceso Hall-Heroult que genera aluminio metálico a partir de la alúmina mediante una reducción electrolítica

Tomado de (USEPA, 1998a)

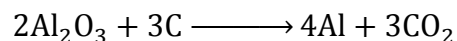
Este proceso es estándar en el mundo aunque los detalles de operación pueden variar y hacer diferencias en cuanto a productividad y eficiencia. Básicamente se **preparan las materias primas** que constan del mineral previamente extraído, triturado, molido y concentrado como se explica en la sección de este documento de “minería” para introducirse en digestores, en donde se le añade una **solución de recicló de NaOH**, se añade **cal** (CaO) a la mezcla para controlar el contenido de fósforo y mejorar la solubilidad de la alúmina. La lechada resultante se mezcla con una **solución fresca de NaOH** de reposición y se envía a digestores presurizados que operan a 105 a 290°C. Los **digestores** son tanques grandes que operan presiones de 413kPa a 6,890kPa (60 a 1,000psi) (USEPA, 1998a).

Después de aproximadamente 5 horas, la lechada resultante, conocida como “**lodo rojo**” contiene aluminato de sodio (NaAl₂OH) soluble y otros óxidos metálicos insolubles, se envía a un **enfriador** en donde se disminuye la temperatura a 100°C y se añade un floculante (almidón por ejemplo), luego, la lechada se envía a un **ciclón húmedo** que retira el exceso de agua y/o bien a un **sedimentador** para separar los óxidos insolubles (USEPA, 1998a).

La solución separada (el sobrenadante) se lleva a la torre de enfriamiento que opera como parte de un **crystalizador**, a medida que la temperatura desciende, la solución se sobresatura, para ayudar a la formación de cristales y a la precipitación de éstos, se adicionan pequeños cristales de trihidrato de alúmina (Al₂O₃.3H₂O) que crecen, formando el producto del mismo compuesto, éste se envía a un **filtro** que con ayuda de **agua de lavado** retira los restos de la solución gastada. Ésta se recircula al proceso (USEPA, 1998a).

Los cristales obtenidos, se llevan a un **horno** que calcina parcialmente la alúmina, formando un producto de aspecto arenoso, esto se hace para capturar y reciclar las emisiones de compuestos de flúor, lo que mejora la calidad del producto y evita que estas emisiones estén presentes durante la fundición del metal (USEPA, 1998a).

El proceso **Hall-Heroult**, frecuentemente acoplado al Bayer, se usan celdas de reducción electrolítica recubiertas con carbón que sirve como cátodo y electrodos (de carbón) sirven de ánodos. La resistividad eléctrica de los materiales genera energía calorífica que mantiene la celda operando. Criolita fundida (Na₃AlF₆) sirve de electrolito y solvente para la alúmina. La reducción electrolítica del Al₂O₃ por la vía del carbono se lleva a cabo de la manera siguiente (USEPA, 1998a):



El carbón necesario para la reacción proviene del electrodo, que requiere de 0.5 a 0.6kg de carbón por kilogramo de aluminio metálico. Los electrodos son consumidos por la reacción. En la reducción electrolítica de la alúmina, los ánodos de carbón se bajan en la celda y se consumen a una tasa de 2.57cm (una pulgada) por día. En teoría solo se requieren de 0.33kg de carbón por kilogramo de metal. Los gases de

salida de la operación contienen de 10 a 50% en masa de CO, dependiendo de la diferencia entre el consumo real y el teórico (USEPA, 1998a).

La criolita, solvente y electrolito de la alúmina, tiene un punto de fusión de 1,010°C, la mezcla también contiene CaF₂, algo de AlF₃ y Li en algunos casos, que junto con la alúmina disuelta, reduce la temperatura de fusión lo suficiente para que la celda opere entre 940 a 980°C (USEPA, 1998a).

El **aluminio metálico** se deposita en el **cátodo**, donde permanece fundido por debajo de la superficie del baño de criolita. El aluminio es empujado cada 24 a 48 por debajo de la cubierta de criolita usando un sifón de vacío, luego es transferido a un **horno de retención** (generalmente de reverberado) donde se refina mediante la adición de escoriales y se desgasifica con N₂ o Ar para eliminar el H₂, y mezclas de N₂ y Cl₂ para eliminar otras impurezas metálicas, se retiran impurezas sólidas y se afina la composición del material (adicionan aleantes como S, Cu, Mg, Pb, Sn, Zn, Ti, Cr, Fe, Ni). Luego, el material se envía a los **sistemas de colada y/o moldeo**, ya sea para hacer lingotes o para elaborar directamente productos de aluminio (USEPA, 1998a).

Para el caso de los **planchones, perfiles o billets**, se moldean en máquinas verticales, utilizando moldes de metal refrigerados por agua y una mesa de retención en la parte inferior de éstos. La mesa baja a medida que se forma la pieza. También se puede utilizar **moldeo continuo con moldes de arena** como los ya vistos para hierro y acero (BREF, 2005).

Elaboración de ánodos para la reducción del aluminio

Existen 2 tipos principales de celdas (con sus respectivos ánodos) electrolíticas para reducir aluminio, las de Soderberg (horizontales y verticales) y las de electrodos precosidos (BREF, 2005), (USEPA, 1998a).

Los **ánodos de Soderber** se hacen, generalmente in situ, a partir de una mezcla de coque de petróleo con un aglomerante como la brea de alquitrán de hulla, la pasta formada se cuece con el calor del propio baño fundido. La corriente eléctrica pasa al ánodo de Soderberg a través de una conexión por clavijas que se desconectan y conectan en una posición superior a medida que el ánodo se consume. La pasta hecha, se va bajando a medida que el ánodo baja (se consume) pasando por una chaqueta después de hacerse la mezcla, de esta manera el ánodo no necesita ser cambiado ya que es repuesto continuamente. En sistemas actuales, se tienen sistemas de alimentación automáticos en puntos concretos de la celda, lo que hace innecesario romper la costra de mineral que se forma en la superficie. En la parte inferior de la envoltura del ánodo se instala un colector de gas para recoger las emisiones producidas (partículas, compuestos de flúor, alquitranes, compuestos aromáticos poli cíclicos) (BREF, 2005).

Los **ánodos precosidos** se fabrican con el mismo material que los anteriores, solo que la pasta se moldea en forma de bloque y se cuece en una planta de ánodos por

separado con emisiones similares. Ésta planta es frecuentemente integrada a la de aluminio primario, por lo que debe de considerarse también, independientemente de la clasificación industrial o alguna otra medida administrativa teórica. Los ánodos se suspenden en la celda mediante barras conectadas a vigas anódicas que sirven también como conductores eléctricos. Los ánodos se bajan progresivamente a medida que se consumen y se sustituyen antes de que las barras sean dañadas por el material fundido. Los restos de ánodos (butts) se limpian del material impregnado y se reciclan para hacer electrodos nuevos (BREF, 2005).

Para producir **aluminio secundario** o de reciclaje, se utilizan una diversidad mayor de materias primas y una variedad mayor de hornos empleados. El tipo de materia prima (contenido de metal, óxidos, contaminantes etc.) a utilizar y el pretratamiento que se necesita son las principales variables que determinan el tipo de horno a usar. Estos factores también influyen en la selección de fundentes y otros insumos a usar para lograr el máximo rendimiento del proceso. Dadas las condiciones actuales de la chatarra y opciones de tecnología, existen muchos procesos viables para lograr reciclar el aluminio en circunstancias similares, por lo que aquí se describirá solo un proceso muy general.

En el siguiente esquema se muestra un proceso general para obtener aluminio secundario, el detalle de las operaciones puede variar.

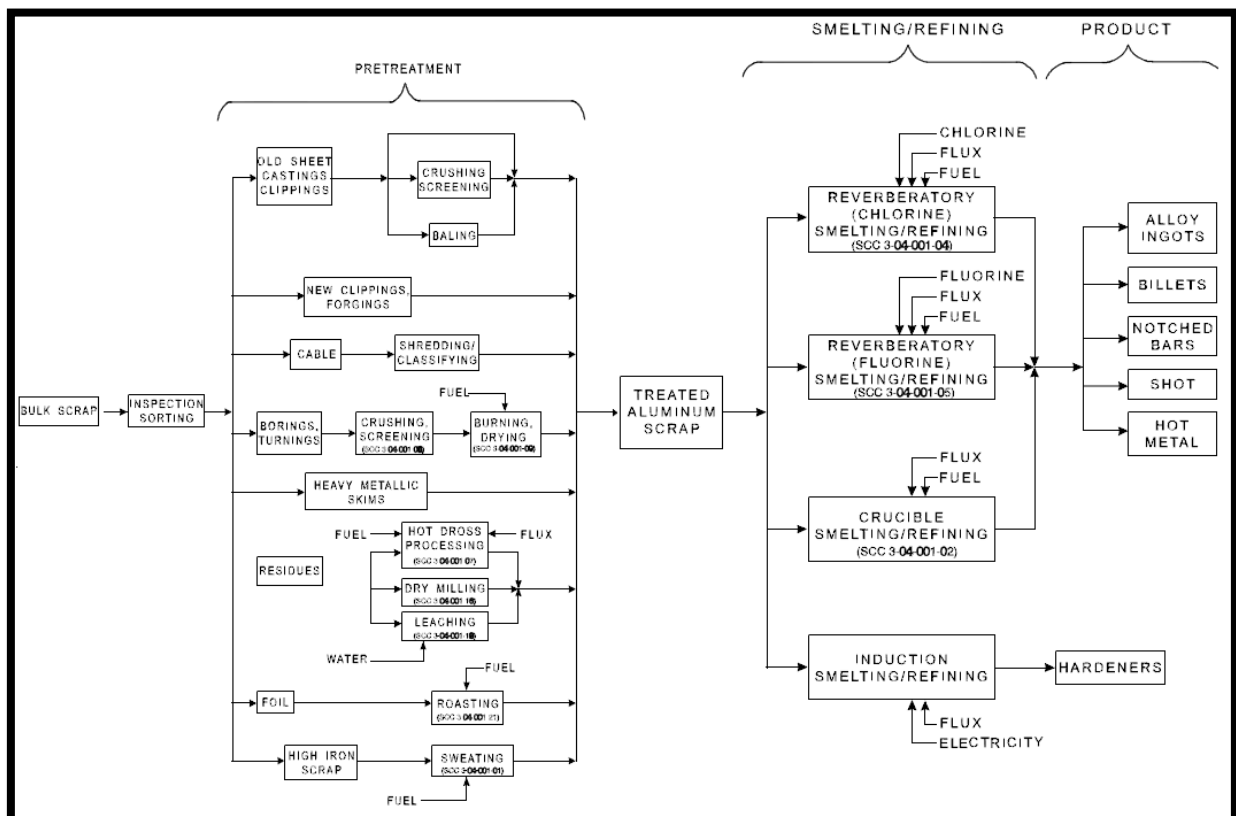


Figura21. Esquema básico del proceso de reciclaje del aluminio, modificado de (USEPA, 1986b)

Las **materias primas** típicas son la chatarra del mismo proceso, latas de bebidas usadas (LBUs), papel de aluminio, piezas hechas por medio de extrusiones o moldeo, virutas, láminas, chatarra comercial entre otros. Además de las fuentes anteriores, también se recupera aluminio de escorias salinas y superficiales (USEPA, 1998a), (BREF, 2005).

El **pretratamiento** de la chatarra involucra distintas técnicas y vías, por lo general, se recurre a la separación previa y clasificación de materiales para eliminar contaminantes (plásticos, papeles, otros metales, madera etc.) y para separar los materiales por el tipo de aleación, disminuyendo así el reproceso posterior, la limpieza tradicional, hecha con agua, detergentes y agentes limpiadores comunes, se hace para librar a la chatarra de polvos, excesos de grasa, pegamentos, tierra y otros contaminantes “fáciles de eliminar”. La limpieza mecánica incluye etapas de triturado, molienda, tamices, tamices vibratorios entre otros, seguida de separación magnética para eliminar restos de hierro. La limpieza piro metalúrgica utiliza energía calórica para eliminar contaminantes, incluye técnicas como el rostizado, sudado y la catalítica, la limpieza hidrometalurgia implica el uso de agua, mediante técnicas de separación en medio denso, usado para separar otros materiales de diferente densidad (como el Fe y el Cu) y lixiviado para recuperar aluminio de escorias y natas (USEPA, 1998a).

Los **fundentes utilizados** en la fundición tienen la función de facilitar el proceso en diferentes formas. Por ejemplo los cloruros de sodio y potasio y algunos fluoruros evitan la oxidación del metal al formar una capa de material en la superficie que lo protege (natas o escoria) y son escoriantes también (ayudan a eliminar impurezas), los gases de hornos contienen HCl y cloruros por consiguiente (BREF, 2005).

Los **hornos de fusión** varían mucho, siendo los más comunes los rotatorios y de reverbero ya que pueden manejar una amplia gama de materias primas (secundarias). Los hornos rotatorios pueden incluir un mecanismo basculante que puede reducir la cantidad de fundentes necesarios. Los hornos de inducción y los llamados “meltower” se utilizan para materiales de aluminio más limpios. Los hornos de reverbero se ayudan frecuentemente con un pozo lateral con un sistema de bombeo (mecánico o electromecánico) para transportar el metal fundido a un pozo de carga, facilitando la fusión de partículas pequeñas. También es posible utilizar bombas y centrifugas construidas especialmente para aguantar las temperaturas manejadas. Del horno de fusión sale el metal líquido y las **escorias y/o natas** que se eliminan (la nata se diferencia de la escoria porque el contenido de metal útil es mucho mayor) (BREF, 2005).

En el **horno de retención**, comúnmente uno de reverbero (igual que para el aluminio primario) se lleva a cabo el proceso de **refinación**, que incluye la **desgasificación**, inyectando N₂ y/o Ar, el uso de Cl₂ (gas) ayuda a eliminar el magnesio que es un contaminante (aleante) muy común en la chatarra, también se puede usar el AlF₃, NaF, KF en vez de cloro. La ventaja es que estas sales se pueden recuperar posteriormente de la escoria salina (BREF, 2005).

Los grandes lingotes, billets y planchones se **moldean** igual que para el aluminio primario, para el caso del aluminio, el moldeo en lingotes (pequeños) es más común y surte a empresa de moldeo (como la metalmecánica automotriz y aeronáutica), algunas empresas trasladan el metal fundido en contenedores aislados especiales, directo a las instalaciones de sus clientes (BREF, 2001b).

Las **natas** (escorias superficiales en algunos textos) se generan cuando se funde aluminio y no se utiliza un fundente protector, por lo que se forma una capa superficial de óxido que contiene entre un 20 y un 80% de aluminio, estas son recogidas del horno y tratadas inmediatamente para recuperar el metal y reducir las emisiones de contaminantes, entre los tratamientos se incluyen el enfriamiento con gas inerte, el prensado en caliente, tratamientos hidrometalúrgicos para lixiviar el aluminio entre otros. Las natas ya más frías se llevan a un horno (generalmente rotatorio) para ser fundidas de nuevo y purificadas, por ejemplo, usando fundentes salinos o con técnicas de separación como la molturación (BREF, 2005).

Las **escorias salinas** se recuperan también, enviándose a un molino para hacerlas más manejables, luego se disuelven en agua para que los cloruros pasen ésta y generen una salmuera, dejando el óxido de aluminio insoluble y otras partículas metálicas más finas que por lo general no es económicamente viable reciclarlas (su volumen es muy reducido), la salmuera se envía a un filtro para eliminar restos de óxidos y luego se envía a evaporación y cristalización para recuperar los cloruros de sodio y potasio y volverlos a usar en el proceso. Los sólidos residuales incluyen óxidos de Ca, Mg y Al (hasta un 65% del total de sólidos), también puede haber sulfatos, cloruros y nitratos. Si existe la posibilidad de vender estos sólidos, es necesario un proceso posterior para separarlos y purificarlos, al menos para obtener un producto de interés (como el Al_2O_3). Durante este proceso se liberan gases que incluyen el NH_3 , CH_4 , H_2 y PH_3 (fosfina) (BREF, 2005).

Los productos de aluminio secundario son los mismos que los de aluminio primario. Para el caso de los **planchones, perfiles o billets**, se moldean en máquinas verticales, utilizando moldes de metal refrigerados por agua y una mesa de retención en la parte inferior de éstos. La mesa baja a medida que se forma la pieza. También se puede utilizar **moldeo continuo con moldes de arena** como los ya vistos para hierro y acero (BREF, 2005).

IMPACTO AMBIENTAL DE LA OBTENCIÓN, FUNDICIÓN, REFINACIÓN, AFINACIÓN, COLADA, MOLDEO, LAMINACIÓN DE ALUMINIO Y ELABORACIÓN DE ELECTRODOS DE CARBONO

ALUMINIO PRIMARIO

El **consumo de energía** para la digestión y calcinación en la producción de alúmina depende de la composición de la bauxita, del tipo de digestores y calcinadores empleados. Aproximadamente se utiliza de 8 a 13.5GJ por tonelada de alúmina producida. Los consumos de insumos y materias primas para producir una tonelada

de alúmina son: Bauxita de 1,970 a 2,225kg, NaOH (solución al 50%) de 33 a 160kg, CaO de 35 a 110kg, agua de 1 a 6m³ (BREF, 2005).

La etapa de electrólisis tiene una demanda mayor, necesitándose los siguientes consumos por tonelada de aluminio primario obtenido. La información que se puede apreciar en el siguiente recuadro.

Recuadro 18. Entradas y consumos del proceso de producción de aluminio primario mediante reducción electrolítica de la alúmina. Tomado de (BREF, 2005)

Parámetro	Precoccción	Söderberg
Alúmina - kg/t Al	1.900 – 1.940	1.900 – 1.940
Malla anódica - kg/t Al	400 – 440	
Pasta anódica - kg/t Al		500 – 580
Al F ₃ - kg/t Al	15 – 25	15 – 25
Vida de los cátodos - años	5 – 8	5 – 8
Energía eléctrica para electrólisis - kWh/kg Al	12.9 – 15.5	14.5 – 17.0
Hierro colado para planta de varillaje - kg/t Al	1.0 – 3.0	
Pasta de fijación y collar - kg/t Al	0 – 25	
Consumo eléctrico total - kWh/kg Al*	14.0 – 16.5	15.0 – 18

*Incluye la pérdida del rectificador, control de contaminación y consumo auxiliar, los datos energéticos fueron suministrados por la industria de aluminio secundario europeo, la producción de ánodos representa aproximadamente 5.5MJ/ton

Para el caso de la sección de moldeo, se tienen las siguientes entradas y consumos

Recuadro 19. Entradas y consumos de la sección de colada (para moldeo o laminación), tomado de (BREF, 2006)

Parámetro	Rango
Escorias superficiales producidas - kg/t Al	10 – 25
Fundentes - kg/t Al	0 – 1.5
Gases - kg/t Al	0 – 6.0
Viruas, etc. - kg/t Al	0 – 3
Agua - kg/t Al	200 – 12.000
Energía de homogeneización MJ/t Al	500 – 1.200
Energía de la Sección de Moldeo - MJ/t Al	800 – 1.900*

*No incluye la fusión del metal frío.

Durante la elaboración de **aluminio primario** existen las siguientes fuentes de emisiones a la atmósfera claramente distinguibles:

1. Secado y molienda de la bauxita (partículas del material, más los gases de combustión según el combustible usado, si el secado es indirecto, éstos no se mezclan con las partículas de bauxita).
2. Cámara de sedimentación del efluente de digestores (lodos rojos con NaAl_2OH y otros óxidos metálicos).
3. Gases de calcinación y calentamiento para producir alúmina (partículas y fluoruros).
4. Gases de proceso de la cocción de ánodos (partículas, compuestos de flúor, alquitranes, compuestos aromáticos poli cíclicos).
5. Gases de proceso de celdas electrolíticas (ver abajo).
6. Crisoles de la celda gastados (residuos de revestimiento con carbono, material refractario y residuos del baño).
7. Desgasado (H_2 , Cl_2 si se usa en exceso, N_2 , Ar).
8. Colada (para laminación o moldeo).

Las emisiones de la etapa de reducción electrolítica de la alúmina son (BREF, 2001c):

1. Fluoruros (principalmente HF).
2. Perfluorocarbonos (principalmente CF_4 y C_2F_6 no se pueden capturar una vez formados, solo se puede reducir su formación).
3. Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (igual que los alquitranes).
4. Alquitranes (muy pocos en plantas de electrodos recocidos, mayores en las instalaciones de electrodos soderberg, se pueden controlar con lavadores).
5. SO_2 y otros compuestos de azufre (los ánodos tienen carbón con 1 a 3.5% de azufre, se forma SO_2 , sulfuro de carbonilo (COS), el azufre ayuda a evitar problemas por vapores de sodio).
6. Polvos (principalmente formados por alúmina y criolita).
7. Compuestos metálicos.
8. NO_x (debido a la presencia de nitrógeno en el ánodo).
9. Compuestos de carbono (el CO se produce por la reacción retrograda entre el aluminio y CO_2 , lo que reduce la eficiencia del proceso).
10. Dioxinas y furanos si se usan electrodos de grafito, también se asocian al uso de electrodos de carbono aunque los niveles de emisión son muy bajos, insignificantes comparados con los vistos en el reciclaje de aluminio (PNUMA, 2005).

Las emisiones que se producen desde las células electrolíticas y a través de la ventilación de la sección de crisoles dependen también de la eficiencia de los sistemas de control de emisiones. La obtención de aluminio primario genera importantes cantidades de gases de efecto invernadero como el CO_2 y los compuestos fluorados de carbono (mayor efecto invernadero) (BREF, 2001b).

Puesto que la producción de aluminio primario es un proceso seco, se generan

pocas aguas residuales, limitándose al agua de refrigeración, las aguas pluviales que arrastran polvos y algún otro contaminante y la de los lavadores de gases de la ventilación de crisoles. La producción de ánodos puede producir agua residual usada en la refrigeración. El agua recuperada del lodo rojo es muy alcalina pero se recicla a la planta. La electrolisis es un proceso seco y no se generan emisiones de agua (BREF, 2005).

Las **emisiones al agua** incluyen partículas suspendidas, sulfatos, fluoruros y compuestos aromáticos poli cíclicos provenientes de los lavadores húmedos y del agua pluvial que arrastra contaminantes en las aéreas de proceso (BREF, 2005).

Los **residuos sólidos** incluyen el lodo rojo producido durante la extracción de alúmina a partir de bauxita. Normalmente es alcalino y contiene de 1 a 12kg de NaOH por tonelada de alúmina producida. Por estas características debe de manipularse adecuadamente y con cuidado. Actualmente la forma de manejarlo como residuo es mediante disposición final en celdas especialmente hechas para ello, por lo general, cerca de la planta de aluminio primario o en instalaciones especializadas (BREF, 2001c).

También puede producirse una **sal** al eliminar impurezas de la lechada de digestión, ésta, si es adecuadamente procesada es un subproducto valioso ya que es fuente de metales como vanadio y telurio (BREF, 2001c).

Los revestimientos del crisol tienen una vida útil de 5 a 8 años, la cantidad de residuos de este material (revestimiento de crisol consumido o RCC) son aproximadamente de 20 a 30kg por tonelada de aluminio producido. El RCC se considera conformado por dos fracciones, la del carbono y la del material refractario, el primero es el cátodo de la celda y el resto son materiales aislantes que protegen la estructura del tanque. Estas fracciones se separan al desmontar el cátodo, que también tiene material residual del baño, barras de acero usadas para la conducción de energía eléctrica y escamas de aluminio metálico (BREF, 2001c).

Los materiales se pueden reciclan para volver a usarse en el proceso (o tratarse como desechos), los compuestos que generan problemas son el fluoruro y el cianuro solubles. Además la humidificación de este residuo (el RCC) produce lixiviados alcalinos y libera pequeñas cantidades de NH_3 y PH_3 . Estos contaminantes generalmente se asocian más al residuo de carbono del RCC y las partes refractarias en contacto con éste (BREF, 2001c).

Las escorias y natas del proceso representan de 15 a 20kg por tonelada de aluminio producido, conteniendo hasta el 80% en aluminio por lo que se tratan para recuperarlo.

El acero de la planta de ánodos se funde normalmente en un horno de inducción para poderlo utilizar de nuevo ya que está contaminado con fluoruros, este proceso es otra fuente de emisiones de HF y fluoruros además de otros contaminantes propios de esta actividad (BREF, 2005).

ALUMINIO SECUNDARIO

Las **emisiones a la atmósfera** generada durante el reciclaje del aluminio son las siguientes:

1. Polvos y humos,
2. Compuestos metálicos,
3. Compuestos orgánicos como COVs, dioxinas, furanos,
4. NO_x,
5. SO₂,
6. HCl y HF.

Las emisiones del pre tratamiento de chatarra de aluminio son similares a los de la chatarra de hierro y acero antes vista (asumiendo que está sucia con grasas, lubricantes, pinturas etc.).

El combustible utilizado en los hornos es el responsable de una parte considerable de las emisiones de gases, otra proviene de las impurezas del material de alimentación, parte del polvo es debido a que este material llega junto con la chatarra y los vapores salinos llevan en su seno, una cantidad de partículas considerable.

Para **controlar las emisiones** se cuenta con técnicas de captura de gases conocidas y usadas ampliamente en la industria (no solo la metalúrgica). La extracción de vapores es un elemento importante ya que puede formarse humo y polvos provenientes de los contaminantes de la alimentación y de la fusión y combustión. Para poder controlar eficientemente las emisiones de gases y polvos en los hornos es importante tomar en cuenta su diseño para identificar los puntos de emisión, además de considerar la instalación de diferentes sistemas de reducción de emisiones, sobre todo durante la carga del horno. El uso de sistemas o vehículos herméticamente cerrados, conectados a la compuerta del horno, cuando está bien diseñado evita estas emisiones (BREF, 2001c).

El otro aspecto importante de generación de gases y polvos es la combustión de recubrimientos de la chatarra durante el pretratamiento. Los sistemas de control de estas emisiones se deben de diseñar para manejarlas adecuadamente. Las emisiones fugitivas pueden ser significativas si no se diseñan adecuadamente los sistemas de captura (BREF, 2005).

Las emisiones de **polvos y metales** van asociadas y se producen debido a la combustión de combustibles para los hornos, de la chatarra y por los fundentes utilizados. Algunos metales se volatilizan durante la fusión y forman polvo, otros tienen actividad química y ayudan a catalizar la formación de dioxinas y furanos (en los gases calientes) por la presencia de compuestos de carbono y cloro. El uso de sistemas de poscombustión ayuda a reducir significativamente estos compuestos; la inyección de sustancias como carbono, bicarbonato de sodio o cal también ayuda al control de emisiones aunque se tienen pros y contras en cada caso. El uso de filtros

de bolsas o de cerámica (muy eficientes) con corta chispas, sirven bien para eliminar la mayor parte del polvo, teniendo emisiones de 0.6 a 20mg/Nm³. Los quemadores recuperativos sirven para generar energía útil a partir de los gases de poscombustión generados, ayudando a ser más rentable la operación (BREF, 2005).

Los **compuestos orgánicos derivados de la combustión incompleta** del combustible y del contenido orgánico del material de alimentación son la fuente de estos compuestos. Para mejorar la combustión se recurre al control adecuado de los quemadores y hornos. Para tener un buen control es importante tomar en cuenta la velocidad de alimentación y de combustión en estos equipos. Un pretratamiento adecuado de la chatarra reduce significativamente estas emisiones en hornos de fusión. El uso de cloro gas o de sustancias cloradas proporciona el cloro que puede acabar en la formación de dioxinas y furanos. Los sistemas de poscombustión son la mejor manera de destruir compuestos orgánicos producidos en el horno o en el pretratamiento de la chatarra que pueden combinarse con la inyección de sustancias (como carbono) y filtros (BREF, 2001c).

La “**síntesis de novo**” es un fenómeno que ocurre en los gases de combustión que se enfrían, consiste en la formación de dioxinas (y menor grado de furanos) a una temperatura entre 250 a 500°C, las partículas finas de carbón reaccionan con cloruros inorgánicos e inorgánicos, la presencia de pequeñas cantidades de metales como el Fe y Cu (fáciles de encontrar en estos escenarios) cataliza la reacción (Government of Japan, 2005). Aunque las dioxinas se destruyen a una temperatura mayor a los 850°C en presencia de oxígeno, la síntesis de novo todavía es posible ya que los gases se enfrían dentro de la ventana de formación antes descrita. Esta ventana también puede estar presente en sistemas de eliminación de partículas y partes frías del horno (como en la zona de alimentación) (BREF, 2005).

La síntesis de novo puede ocurrir en el tratamiento piro metalúrgico de la chatarra y en los hornos de fusión. Para controlarse estas emisiones se puede inyectar carbón activado en la corriente de gases para adsorber estos contaminantes, estos polvos luego pueden ser filtrados. Sistemas de poscombustión con enfriado “rápido” de gases de salida puede destruir las dioxinas y furanos formados y reducir la venta de (re)formación posterior. La eliminación de emisiones de polvos con metales también ayuda a reducir estas emisiones. Además existen técnicas experimentales que probablemente se incluyan de forma comercial en los años que vienen (PNUMA, 2005), (Government of Japan, 2005).

Las emisiones de dioxinas y furanos varían según el tipo de horno utilizado. El tipo de horno con más emisiones es el de reverbero de pozo abierto con un promedio de 0.38 ng EQT-I/Nm³. Se cree que estos resultados se relacionan con el hecho de que es el único diseño de horno que permite la introducción de grandes trozos de material de desecho, y este material suele ser el más contaminado con compuestos orgánicos que pueden contribuir a la formación de PCDD/PCDF (Government of Japan, 2005).

Respecto a los hornos de retención (o conservación), está sujeto a los mismos

principios, únicamente que en él, por lo general no se realiza la eliminación de escorias y natas y en ocasiones, su configuración lo hace ser menos contaminante que los hornos de reverbero que los alimentan. Para aleaciones “duras” se usan hornos de inducción eléctrica y por lo general son más pequeños que los hornos de fundido, tienen mejor control entre otros factores (USEPA, 1986a). La combinación más adecuada de técnicas para eliminar o reducir las dioxinas y furanos varía según el centro de trabajo y sus condiciones particulares. En la Unión Europea hay instalaciones de metal secundario (Al, Zn, Pb etc.) que han logrado emisiones de menos de 0.1 ng EQT-I/Nm³ (BREF, 2005).

Las Naciones Unidas, en un estudio sobre emisión de dioxinas y furanos en la industria (con miras a ayudar a los estados nacionales a implementar un inventario de estas emisiones) mencionan que la emisión de estos contaminantes durante el tratamiento de la chatarra de aluminio con retención simple de polvos es de 150µ I-TEQ/ton de Al secundario producido, si se cuenta un tratamiento bien controlado y con un buen sistema de control de emisiones la emisión es de 35µ I-TEQ/ton de Al secundario producido, si además del buen control de tratamiento y un buen sistema de control de emisiones se inyecta cal la emisión es de 1µ I-TEQ/ton de Al secundario producido, para plantas simples (secado de virutas) la emisión es de 5µ I-TEQ/ton de Al secundario producido. Para plantas de aluminio secundario con desengrasado térmico, horno rotativo, postcombustión y filtro de manga, la emisión es de 0.35µ I-TEQ/ton de Al secundario producido (PNUMA, 2005).

El **dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno** se producen en sistemas de combustión en hornos. Por lo general las emisiones son poco significativas y se reducen aun más utilizando quemadores de bajo nivel de NO_x y combustibles bajos (y ultra bajos) en azufre. Los quemadores de oxcombustible (usan corrientes de oxígeno en vez de aire) reducen mucho más la emisión de NO_x aunque hay que considerar que los gases de salida tendrán una temperatura mayor y esto puede generar el efecto opuesto si no es previsto en el diseño (BREF, 2005).

La emisión de **HF, HCl y cloruros** está asociada al uso de sustancias cloradas (o cloro gas) para eliminar el hidrógeno y el magnesio del aluminio. Actualmente se utilizan hornos rotatorios en los que no se usan sustancias cloradas para este fin. Si hay cloro en exceso (cualquier fuente), se emite cloruro de aluminio en los vapores, el cual se puede hidrolizar para formar HCl. Algunos centros de trabajo usan lavadores húmedos o secos o semisecos para eliminar estos compuestos. El buen control de proceso y uso de cloro y gases inertes disminuye estas emisiones. El uso de fundentes salinos también genera más vapores y polvos finos que contienen cloruros metálicos. El uso de fluoruros para eliminar el magnesio y como fundentes puede producir HF y fluoruros en menor proporción (BREF, 2005).

Las emisiones a la atmósfera típicas de la producción de aluminio secundario se pueden ver en el recuadro siguiente.

Recuadro 20. Resumen de emisiones a la atmósfera generadas al procesar aluminio secundario, armado con varias partes del documento (BREF, 2005)

Emisión	Unidad	Secado de virutas	Fusión en horno de inducción ¹	Fusión en horno rotatorio ¹	Fusión en horno reverbero con pozo lateral ¹	Fusión en horno con solera en pendiente ¹
Partículas	mg/Nm ³	<5 a 50	<1 a 35	1 a 30	<0.1 a 35	<5 a 50
HF	mg/Nm ³	<5	0.1 a 5	0.1 a 5	0.1 a 5	<5
Cloruros	mg/Nm ³	<5	1 a 5	<1 a 5	<1 a 5	1 a 5
HCl	mg/Nm ³	3 a 40	0.1 a 40	0.1 a 40	0.5 a 40	30 a 40
SO ₂	mg/Nm ³	15 a 530		5 a 520	0.5 a 515	10 a 530
NO ₂	mg/Nm ³	40 a 420		50 a 450	15 a 450	20 a 420
Dioxinas	ng/Nm ³	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1
COVs	mg/Nm ³	10 a 57		5 a 90	2 a 55	5 a 57
Energía ²	GJ/ton	3.5 a 5.2	2 a 8	4 a 12	3.3 a 8.0	2.3 a 3.8

¹ Después de la alimentación

² Las unidades son en GJ por tonelada de viruta para la primera columna, después es por tonelada de Al fundido

Las **emisiones al agua** en la producción de aluminio secundario son pocas porque el proceso es esencialmente seco. La generación de aguas residuales se limita normalmente al agua de refrigeración que por lo general se recicla completamente, solo reponiendo las pérdidas por evaporación y purga (3 a 5% por ciclo). El agua de lluvia puede estar contaminada al caer sobre las zonas de almacenamiento abierto de materias primas como chatarra aceitosa y otros sólidos depositados. Los valores típicos de este caso son <0.03kg/ton de Al para los sólidos suspendidos. Si se utilizan sistemas húmedos de tratamientos de gases, es posible que si se generen cantidades mayores de agua residual cuyas características pueden variar (BREF, 2005).

Los residuos sólidos de proceso y otros desechos incluyen las escorias superficiales de los hornos de retención y tratamiento, el volumen típico de estos residuos es de 15 a 20kg/ton de aluminio producido. Este residuo contiene una cantidad importante de aluminio por lo que se somete a tratamientos para recuperarlo (molturación y clasificación con aire por ejemplo). Los sólidos del tratamiento de escorias salinas pueden ser fuente de óxidos de metales si se procesan adecuadamente. Puede haber emisiones de polvos y fosfina (PH₃) de estos procesos. (BREF, 2005). Cuando las escorias superficiales están en almacenamiento puede reaccionar con la humedad del aire y producir NH₃ y otros gases. También se pueden utilizar como subproducto en otras partes de la industria del aluminio secundario (BREF, 2005).

Los filtros usados también son un residuo. En algunos casos se utiliza bicarbonato de sodio para limpiar los gases, del tratamiento de escorias salinas se generan residuos sólidos también aunque su volumen es menor. Los revestimientos de los hornos son otros residuo generado que por lo general se pueden reciclar para elaborar nuevos materiales del mismo tipo, comúnmente se tienen que limpiar de los residuos que pueda tener (BREF, 2005).

En el recuadro siguiente se presenta un resumen de residuos generados en la

producción de aluminio secundario.

Recuadro 21. Resumen de generación de residuos sólidos en la obtención de aluminio secundario, tomado de (BREF, 2005)

Residuo	Origen	Volumen	Tratamiento	Comentarios
Escoria salina	Fusión	Hasta 500kg por ton de Al	Recuperación hasta óxidos, sales y Al	Se debe evitar desecharlos en vertederos
Polvo de filtro	Limpieza de gases de salida	Hasta 35kg/ton de Al 0.1 a 10kg/ton de Al en horno de pozo cerrado	Pre tratamiento y desecho en pozo, uso en industria del acero, reacondicionamiento parcial con escoria	Debe evitarse el desecho en superficie. tratamiento térmico y neutralización
Revestimiento de horno	Horno de fusión	Hasta 2 kg/ton de Al	Posible reciclado, si no lixiviación y luego a vertedero	Se debe de reciclar, residuo útil para moldeo por inyección
Escorias superficiales	Los hornos que no usan sal. Limpieza de hornos de fundición y segmentos de colada	25 kg/ton de Al aproximadamente 40 a 80kg/ton de Al si se usa un horno de pozo cerrado	Fundición en horno rotatorio. Se recupera, se peletiza y se usa en hornos de tambor rotatorio, la escoria en polvo se puede usar para recuperar escoria salina.	Debe de reciclarse o reusarse lo más posible, no se debe desechar en vertederos.

Durante el tratamiento de escorias salinas se emiten partículas en el orden de 10 a 40mg/Nm³, 300 a 700kg/ton de escoria superficial y se utilizan de 300 a 800MJ/ton (BREF, 2005).

En los residuos sólidos también puede haber dioxinas y furanos que según el estudio de las Naciones Unidas al respecto, va de 100 a 400µ I-TEQ/ton de Al secundario producido, según el control del proceso y los sistemas de control de emisiones implementados (PNUMA, 2005).

7P y 7M. LAMINACIÓN DE OTROS METALES NO FERROSOS (INCLUYENDO EL COBRE Y SUS ALEACIONES)

Estos procesos son, en lo general, parecidos a los que se llevan a cabo para laminar productos de hierro y acero, variando en las condiciones de operación (temperaturas, flujos de materiales, etc.).

8J y LK. FABRICACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA DIVERSOS USOS INDUSTRIALES Y PARA USO AGRÍCOLA Y DE GANADERÍA

La fabricación de estas máquinas va de acuerdo a los requerimientos específicos de cada caso, para hacerla, se confeccionan las partes individuales partiendo de placas, tubos y vigas de diversas aleaciones, a continuación se presenta un esquema

representativo de la forma de fabricarlas.

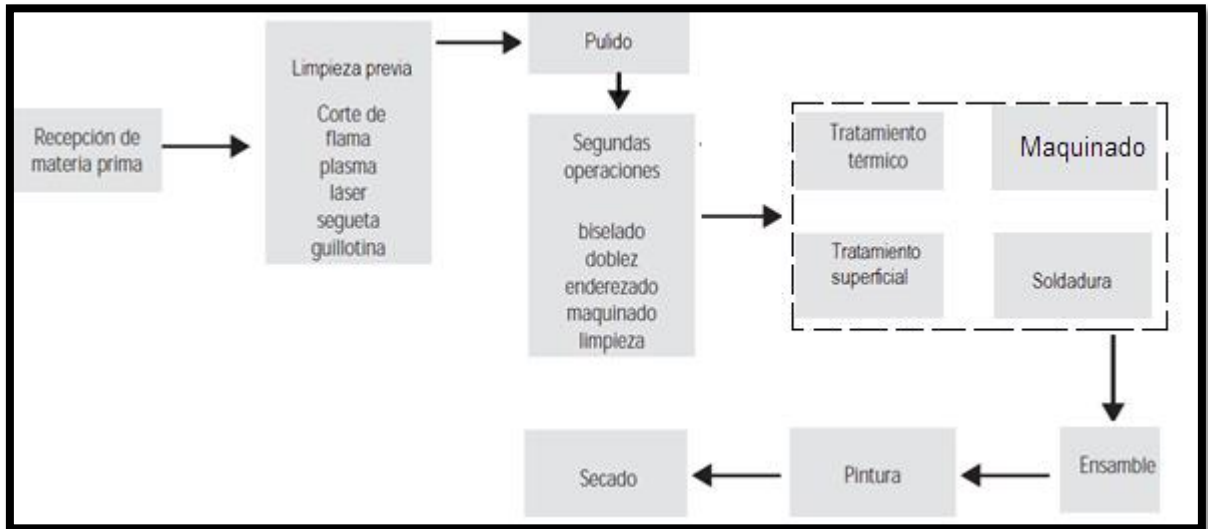


Figura 22. Esquema de la fabricación de maquinaria y equipo para diversos usos industriales, hecho a partir de muchas fuentes, tomando como base el arte de (SEMARNAT, 2007)

Nota: Las operaciones de tratamiento térmico, maquinado, tratamiento superficial y soldadura pueden tener secuencias diferentes en cada caso (piezas diferentes, empresas diferentes, tecnologías diferentes), el diagrama mostrado se hizo así con fines explicativos únicamente.

Las **materias primas** que generalmente se usan son la placa de algún tipo de aleación de acero (o alguna otra si es necesario), esta puede ser producida en una fundición que lamina el material fundido, se revisa que el material cumpla con las especificaciones adecuadas (certificados, si es necesario, pruebas de composición) (SEMARNAT, 2007).

Antes de iniciar cualquier operación, las placas se **limpian**, ya que necesitan estar libres de impurezas como grasas y polvos, para conseguir esto la placa se lleva por rodillos a una cámara en donde es golpeada por una granalla (SEMARNAT, 2007).

Una vez que la placa está lista, se lleva a un área en donde, según sus características, se le aplica una **técnica de corte** para formar la parte específica de la máquina en construcción. Previamente se hizo una descripción sobre estas técnicas y su impacto ambiental.

Una vez se hacen los cortes necesarios para obtener las piezas, si es necesario (según el tipo de corte) se aplica el **pulido** a dichas piezas para eliminar residuos y posibles imperfecciones.

Una vez las piezas han sido cortadas, se pasan a una **segunda etapa de**

operaciones para ajustarlas para su función en la estructura de la máquina que van a integrar, estas pueden ser (Bagur, 2002), (SEMARNAT, 2007):

- Doblado. Consiste en cambiar el ángulo de una superficie, se puede hacer mediante máquinas hechas especialmente para esta función, dependiendo de la máquina a construir, el doblado se puede hacer en el momento de montar la pieza.
- Maquinado. Se define como el proceso para remover material de una pieza básica para hacerla útil a un fin específico, algunas de las técnicas de maquinado son el fresado, biselado, torneado, barrenado, rimado, rectificando, trozado entre otros, pudiendo ser en seco o con la ayuda de un fluido refrigerante (generalmente agua, en algunos casos, algún aceite) (SEMARNAT, 2007).

Ya que las piezas están listas, se pueden someter a un **tratamiento térmico** (previamente descritos en el presente documento) si es necesario, éste ayuda mucho a mejorar las propiedades mecánicas de la pieza, usualmente se utiliza el templado.

Después de la secuencia de tratamientos aplicados, la pieza se puede pasar a **maquinado** nuevamente (incluso entre tratamientos a veces) y luego a un tratamiento superficial que para el caso, uno de los más frecuentes es el **fosfatizado** (descrito con más detalle en la guía de la industria química, en tratamientos químicos superficiales), ya que prolonga por mucho la vida útil de las piezas ya que le dan a la superficie propiedades NO-metálicas por tanto, no conductivas).

Una vez que las piezas están listas, se pasan al área de **soldadura** (previamente descrita en este documento), que puede ser un taller en donde se ensamblen partes de la maquinaria, que posteriormente se monten en ella o puede ser directamente en el área de armado y ensamblado de la máquina.

Una vez que todas las piezas están listas o las secciones de la máquina han sido soldadas y traídas al **tren principal de armado y ensamblaje**, se integran a la máquina, es común que en esta se incluya la soldadura de piezas (a la estructura) también.

Cuando es necesario, a las piezas se les aplica una capa de **pintura**, que se constituye de capas de diversos materiales para brindar una mayor protección y decoración a la pieza. La pintura generalmente se aplica después del tratamiento superficial, ya sea a la pieza individual o a la máquina ya armada.

Una vez que la pieza o la maquinaria está armada y pintada, se pasa a un proceso de **secado**, que puede ser al aire libre o con aire caliente.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA FABRICACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA DIVERSOS USOS INDUSTRIALES Y DE USO AGRÍCOLA Y DE GANADERÍA

Los contaminantes producidos durante el **corte de metales** describieron previamente en este documento.

Los contaminantes de la secuencia de etapas correspondientes al **fosfatizado**, se pueden ver en la sección la guía del sector químico, en “tratamientos químicos superficiales”.

En el **pulido** de las piezas se pueden generar polvos y partículas suspendidas. En las **segundas operaciones y maquinado** se pueden generar virutas, rebabas y polvos, y residuos líquidos constituidos por algún aceite (si es el caso), por ello después de realizar estas operaciones generalmente se aplica una limpieza que puede ser con aire, arena o si es necesario con algún polvo abrasivo. Las maquinas que hacen estas operaciones desechan aceites lubricantes gastados (al menos algunas de ellas) (Bagur, 2002). Los contaminantes de la secuencia de etapas correspondientes al **tratamiento térmico y soldadura**, se explicaron previamente.

Del **pintado** se pueden desprender polvos, aerosoles, vapores de los solventes, el riesgo aumenta si se realiza atomizando la pintura al aplicarla, algunos de los solventes utilizados en pinturas pueden incluir el benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas. Los pigmentos de las pinturas están hechos a base de metales como el Cd, Cr, Cu, Pb, Zn (en polvo), Se, Mo, Ti, Ba, Al (polvo) y Fe, también los hay de origen orgánico como el negro de humo, entre otros (CNMA, 1998). En el caso de utilizar aire caliente para el **secado** se pueden generar gases de combustión, cuya composición exacta depende del combustible utilizado.

ND, 7Z, M8 y A2. FUNDICIÓN Y MOLDEO DE PIEZAS DE MATERIALES NO FERROSOS, FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANO, FABRICACIÓN DE TROFEOS Y MEDALLAS, ACUÑACIÓN DE MONEDAS (SI INCLUYEN PROCESOS TÉRMICOS O DE FUNDICIÓN)

Las actividades industriales que corresponden a los subsectores antes referidos, tienen una gran similitud con las de fundición y moldeo de hierro y acero que se describieron previamente. Únicamente variando en las condiciones de operación, principalmente la temperatura de fusión de metales no ferrosos (menor a la del hierro y acero), en el detalle de la colada, ya que son piezas de características diferentes y en algunos casos, en la aplicación de tratamientos de mejora posteriores.

Nota: En el caso de la descripción de la fundición de hierro y acero, se detallan las etapas de afinación y refinación, para el caso del aluminio, la obtención, la refinación y afinación se hacen en la subsección titulada “Obtención, fundición, refinación, afinación, colada, moldeo, laminación de aluminio y elaboración de electrodos de carbono” en la sección de “metalurgia no férrea” de este documento.

SERVICIOS AUXILIARES

Una parte importante en cualquier establecimiento industrial, es el área de

administración y servicios auxiliares. En la industria en general, las características especiales, ubicación, distribución e incluso la existencia misma dentro de cada sitio de trabajo, varían ampliamente según las necesidades y condiciones particulares, por lo que no es posible elaborar un diagrama general. Para el presente documento se consideró incluir, sólo de manera general, los siguientes elementos:

- Laboratorios,
- Tanques de almacenamiento de insumos,
- Vehículos de transporte y carga usados,
- Almacén temporal de residuos peligrosos,
- Planta desmineralizadora,
- Planta de tratamiento de aguas residuales,
- Calderas,
- Planta auxiliar de generación de energía eléctrica,
- Mantenimiento,
- Servicios generales,
- Sistemas de gases (H₂, N₂, Ar, O₂),
- Sistemas de refrigeración (criogénica),
- Sistemas contra incendios (H₂O),
- Sistema neumático,
- Torres de enfriamiento de agua,
- Motores de compresores.

Laboratorios. Se encargan del control de calidad de las materias primas e insumos, de las pruebas de fenómenos de interés (flotación, separaciones, actividad etc.), identificación de residuos, apoyo a los procesos productivos para hacer ajustes y para tomar decisiones.

Tanques de almacenamiento de insumos. Son recipientes propiamente adecuados para almacenar los insumos utilizados en las actividades productivas y de mantenimiento como: solventes de proceso (para desengrasado) y de mantenimiento, agentes para el control de la corrosión e incrustación de sales, sustancias para la flotación (colectores, depresores, reguladores, tensoactivos, etc.), acetileno (corte de metales), aceites hidráulicos para las máquinas y para formular emulsiones usadas en el proceso de laminación entre otros.

En el caso de almacenar solventes y otros compuestos orgánicos puede haber emisiones de compuestos orgánicos totales (TOCs), compuestos orgánicos volátiles (COVs), compuestos orgánicos no volátiles (noCOVs) y compuestos inorgánicos que provienen de la operación normal y del manejo de éstos, el AP-42 en su sección 7.1 describe estos equipos (tanques horizontales, con techo flotante externo, interno, fijo, a presión, de espacio variable de vapor etc.) así como una forma de estimar sus emisiones por trabajo (operaciones de llenado y vaciado) y por contener líquidos orgánicos volátiles (standing losses), estos involucran un conocimiento de las características principales del tanque, el líquido volátil contenido y manejado, condiciones ambientales y fenómenos de transferencia de materia (y energía), el

software "TANKS" de la EPA, contempla lo mencionado y es de distribución y uso gratuito (USEPA, 2006a).

Vehículos de transporte y carga usados. Como barcos, helicópteros, carros, montacargas, grúas entre otros, generan gases de combustión según el combustible utilizado, el establecimiento es responsable de éstos, por lo que deberá reportar el combustible empleado y las emisiones relacionadas, el AP42 en su volumen II trata sobre la estimación de las emisiones de fuentes móviles.

Para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos, la SEMARNAT utiliza los factores de emisión que proporciona el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, publicado en diciembre del 2005, para transportes. Un resumen de estos factores se encuentra en el anexo II de esta guía.

Almacén temporal de residuos peligrosos. Esta área dependerá de la instalación, puede incluir material eléctrico (balastaras, transformadores, algunos tal vez todavía contengan BPC), piezas de material aislante (algunos pueden contener asbestos), material impregnado con solventes, hidrocarburos, grasas, aceites, contenedores con insumos utilizados en diversos procesos, aceites lubricantes gastados provenientes de molinos de laminación y de equipos rotatorios como compresores, bombas, catalizadores gastados, purgas de torres, tanques contenedores, acumuladores y otros equipos entre otros.

Planta desmineralizadora. Algunas aplicaciones tecnológicas, propias del sector y los equipos de calentamiento como calderas, necesitan que el agua empleada en ellos cumpla con ciertas especificaciones técnicas (básicamente estén libres de sales y metales) para evitar interferencias en los procesos e incrustaciones en tuberías y equipos; por lo que estas plantas pueden ser necesarias en instalaciones de este sector, ellas pueden generar lodos de tratamiento con los metales y sales retirados del agua.

Planta de tratamiento de aguas residuales. Se encargan de eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua que viene de los servicios administrativos, baños y cocina básicamente, para las instalaciones de proceso estas plantas incluyen otras unidades adecuadas para el tipo de influente a manejar, frecuentemente el agua utilizada para lavar gases de proceso necesita tratarse antes de desecharse y/o para reciclarla en el mismo sistema. De ser necesario, se pueden instalar unidades o plantas completas específicas para tratar residuos líquidos de procesos particulares.

Las emisiones al aire provenientes de procesos biológicos de tratamiento, son gases de efecto invernadero, principalmente el metano, que puede ser colectado y utilizado como fuente de energía o por lo menos debe de ser conducido a un quemador elevado para ser destruido, también pueden generarse CO₂ y N₂O aunque en menor grado. Las emisiones al aire de estas plantas se detallan en el AP42, sección 4.3, programa WATERS9 de la EPA, disponible sin cargo, ayuda a estimar estas

emisiones (USEPA, 1998b).

Las descargas (emisiones) de aguas tratadas pueden incluir grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total, metales pesados (como el As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn), materia orgánica (medida como DBO) entre otros. Se espera que los parámetros de descarga estén dentro de las regulaciones y normatividad correspondiente, para el reporte de la COA se deben de reportar todos los contaminantes que se existan (o se detecten), no solo aquellos obligados por la ley, los contaminantes no normados se pueden estimar mediante factores de emisión, modelos matemáticos, cálculos de ingeniería etc.

El uso de agua en procesos metalúrgicos es como fluido de enfriamiento, que se usa una vez y se desecha o se recicla por completo, reponiéndose solo las pérdidas por evaporación y purgas, como fluido en las redes de agua contra incendio (indispensable), para servicios generales, en calderas y como vapor, en operaciones de mantenimiento, como medio en emulsiones usadas en laminación, como medio en torres de lavado (de gases) con sosa cáustica o algún otro compuesto, entre otros.

Nota: El agua de abastecimiento puede traer ya concentraciones de algunos de los “contaminantes” presentes en las descargas, (como por ejemplo metales pesados), algunas instalaciones hacen la medición de especies químicas presentes en descargas y en agua de entrada para estimar qué tanto de dichas especies químicas se “agregó” durante el proceso productivo, la aclaración se hace ante la CONAGUA y se reporta la “emisión” del agua de la descarga en la sección 3.2.3 si la diferencia no rebasa el umbral (en el caso de sustancias RETC), si es igual o mayor a éste, entonces se reporta en la tabla 5.2, para contaminantes no RETC todo reporte va en la tabla 3.2.3.

Calderas y equipos de combustión Las calderas generalmente presentes para proporcionar agua caliente o vapor, además de su uso para el servicio de aseo del personal y la cocina, produce gases de combustión según el tipo de combustible usado y el tipo de equipo empleado. Otros equipos de combustión sirven para proporcionar energía térmica al proceso como calentadores, secadores indirectos, algunos hornos (en general los equipos que queman algún combustible fósil sin que los gases entren en contacto directo con las corrientes de proceso).

El agua para la generación de vapor se acondiciona para evitar la incrustación, algunos de los insumos utilizados son el hidrato de hidracina, anilina, H_2SO_4 , NaOH, tetrahidro-1,4-oxazina (conocido también como “morfolina”), etanolaminas, fosfatos, molibdatos, benzotiazoles, sales aminas de tolitriazol entre otros.

Para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, provenientes de equipos de combustión en donde los gases no entran en contacto con las corrientes de proceso, la SEMARNAT utiliza los factores del IPCC, que se pueden ver en el anexo II de esta guía y en las publicaciones del IPCC. Para los otros contaminantes se puede utilizar el AP-42 de la USEPA sección I y sección III para generación de

energía eléctrica.

Para la generación de dioxinas y furanos la SEMARNAT utiliza los factores de emisión que proporciona el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, publicado en diciembre del 2005, para equipos de producción de energía y calefacción. Un resumen de estos factores se encuentra en el anexo II de esta guía.

Planta auxiliar de generación de energía eléctrica. Dada la importancia de mantener un proceso continuo, muchas plantas que operan con suministro externo, también cuentan con una planta auxiliar. En algunos casos, se puede aprovechar algunas la recuperación de energía en los procesos productivos para generar electricidad aunque por lo general, la gases como el de alto horno, de coque etc., se aprovechan para generar calor o como insumos en el proceso.

Las plantas auxiliares suelen utilizar combustibles fósiles como diversos tipos de combustóleo, diesel, gas natural, gases de proceso (a veces) entre otros, generando gases de combustión según el tipo de combustible usado y el equipo empleado.

La mayoría de los motores y equipos de una planta trabajan con 440V o 220V y 3 fases, y para el área administrativa, laboratorios y equipos menores se usa una fase y 110V.

Para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, provenientes de equipos de combustión en donde los gases no entran en contacto con las corrientes de proceso, la SEMARNAT utiliza los factores del IPCC, que se pueden ver en el anexo II de esta guía y en las publicaciones del IPCC. Para los otros contaminantes se puede utilizar el AP-42 de la USEPA sección I y sección III para generación de energía eléctrica.

Para la generación de dioxinas y furanos la SEMARNAT utiliza los factores de emisión que proporciona el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, publicado en diciembre del 2005, para equipos de producción de energía y calefacción. Un resumen de estos factores se encuentra en el anexo II de esta guía.

Mantenimiento. Hace referencia al área en donde se tienen los equipos, máquinas, herramientas y personal para dar mantenimiento preventivo y correctivo a las partes del proceso. Algunas instalaciones subcontratan estos servicios. Los residuos y emisiones al agua y aire son muy variados según el tipo de industria en que operen, de forma general puede haber solventes, grasas y aceites gastados, estopas, trapos y esponjas con éstos materiales. Otros residuos pueden incluir equipo eléctrico usado (con BPC por ejemplo), lodos de purgas de equipos, escorias de fundición, negros de fundición, soluciones de lavado gastadas (con solventes) entre muchos otros.

Servicios generales. Esta parte incluye servicios administrativos, oficinas, sanitarios,

baños, limpieza general (barrer, trapear, sacar la basura etc.), aire acondicionado, jardinería, etc. Se producen residuos sólidos municipales, en el agua puede haber restos de materia orgánica (fecal principalmente), detergentes, jabón, líquidos de limpieza y papel.

Cada establecimiento puede elegir como subdividir y reportar los servicios auxiliares que posee, sin perder de vista que la afectación ambiental de estos es el principal criterio para reportarlos dentro de la COA.

Sistemas de gases. En procesos metalúrgicos, se utiliza principalmente para favorecer la mezcla y desgasado del metal caliente, lo que ayuda a obtener materiales con mejores propiedades. También se utilizan para crear y mantener atmósferas no oxidantes y protectoras en tratamientos térmicos. Los principales gases utilizados son el N₂, Ar, H₂. Algunos sistemas contra incendio pueden incluir N₂ o CO₂ para operar. El uso de corrientes de alta pureza de O₂ es común en la elaboración de acero como ya se ha podido ver.

El CO₂ se puede obtener mediante muchos procesos, mientras que el N₂ frecuentemente se obtiene destilando aire en plantas criogénicas especializadas junto con el oxígeno y el argón. El hidrógeno se puede obtener a partir gas natural o de la electrólisis del agua, que adicionalmente produce oxígeno también.

Usualmente las empresas metalúrgicas adquieren los gases industriales (como el argón, nitrógeno, oxígeno) a una tercera, el hidrógeno y CO₂ también se pueden adquirir aunque también se pueden producir en la instalación. Si la planta cuenta con una unidad criogénica, ésta utiliza sistemas de refrigeración y de compresión, lo que representa un gasto de energía, que puede reflejarse en la emisión de gases de combustión (para mover compresores), además de las emisiones fugitivas de fluidos refrigerantes usados (ARAP, 2010). Puesto que no se encontró una sola instalación metalúrgica con una planta criogénica integrada para destilar aire, no se tratará en este documento, en la industria química hay un subsector dedicado a gases industriales que incluye estas plantas.

Sistemas de refrigeración. En varios procesos, se le necesita para ayudar a retirar energía de una corriente, éstos utilizan un fluido refrigerante para entrar en contacto, mediante intercambiadores de calor, con la corriente a enfriar, estas últimas también son expandidas para lograr tal fin. Los refrigerantes pueden ser hidrocarburos como el propano, otros pueden ser CFC (prohibidos), HFC (sustitutos de los anteriores) o HFO, los HCFC son de desarrollo reciente (ARAP, 2010). El N₂O también se utiliza como refrigerante en la industria en algunos sistemas.

Las corrientes de proceso también se utilizan para enfriar a otras pero no están sometidas a un ciclo de refrigeración como los primeros, éste incluye la evaporación isobárica, etapa en la que retira energía del fluido a enfriar, compresión isoentrópica (idealmente), etapa en la que un compresor aumenta la presión del refrigerante para que pueda darse la condensación isobárica que permite que el refrigerante libere la energía tomada anteriormente y la expansión isoentálpica, que regresa la

refrigerante a las condiciones de trabajo, según las propiedades de este último, puede gasificar una parte.

En estos sistemas, las emisiones son los COVs de los refrigerantes utilizados, aunque si se utilizan motores de combustión interna para mover los compresores, estos generan gases de combustión según el tipo de combustible utilizado principalmente, también es común mover los compresores con expansores de vapor.

Sistemas contra incendios Instalados para combatir cualquier conato de incendio, siempre se mantienen en condiciones de operación, indispensables en cualquier instalación de producción.

Las bombas generalmente son movidas por motores de combustión interna para mantenerlas disponibles siempre, éstos generan gases de combustión.

Sistema neumático. Muchos equipos de control de procesos cuentan con una red de aire a presión para poder funcionar, por lo que es indispensable que funcione bien para garantizar la seguridad y control de la planta.

Torres de enfriamiento de agua. Las torres de enfriamiento son usadas ampliamente en la industria en general para transferir energía de “desecho” al medio ambiente, dado que no siempre es posible utilizar agua de enfriamiento de un solo paso (se toma del medio ambiente, se utiliza y se regresa al medio ambiente), muchas instalaciones tienen que utilizar estas torres para reutilizar el agua.

Dependiendo del proceso será el consumo como ya se ha visto. El agua al hacer su recorrido se puede contaminar con aceites, grasas y óxidos, por lo que se requiere de un buen mantenimiento de equipos para reducirlo o eliminarlo.

En estas instalaciones es necesario evitar la proliferación de organismos mediante algún método de desinfección, generalmente agregando algún insumo al agua; como el bromo, ionización de Cu/Ag, dióxido de cloro e hipoclorito de sodio entre otros.

También es necesario evitar incrustaciones, algunos de los insumos utilizados son el hidrato de hidracina, anilina, H₂SO₄, NaOH, tetrahidro-1,4-oxazina (conocido también como “morfolina”), etanolaminas, fosfatos, molibdatos, benzotiazoles, sales aminas de tolitriazol entre otros. Los lodos filtrados generalmente tienen metales como el Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, y restos de químicos de control usados (DQO).

Motores de compresores y bombas. Se utilizan compresores para mover distintas corrientes de gases de proceso, de servicios, insumos, desecho y/o en sistemas de refrigeración. Para moverlos se pueden utilizar turbinas de gas y motores reciprocantes alimentados con gas natural, estos equipos son más confiables y fáciles de mantener que los equivalentes motores de combustión interna, aunque la decisión de qué fuente motriz instalar se hace con consideraciones específicas de la instalación (inversión, capacidad de compresión etc.)

Las emisiones al aire son los gases de combustión según el combustible utilizado que por lo general es gas natural, los motores recíprocos generan emisiones significativamente mayores que las de las turbinas.

Para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, provenientes de equipos de combustión en donde los gases no entran en contacto con las corrientes de proceso, la SEMARNAT utiliza los factores del IPCC, que se pueden ver en el anexo II de esta guía y en las publicaciones del IPCC. Para los otros contaminantes se puede utilizar el AP-42 de la USEPA sección I y sección III para generación de energía eléctrica.

Para la generación de dioxinas y furanos la SEMARNAT utiliza los factores de emisión que proporciona el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, publicado en diciembre del 2005. Un resumen de estos factores se encuentra en el anexo II de esta guía.

Información Técnica General

En esta sección se solicita toda aquella información relacionada con el proceso: insumos, productos y subproductos, así como el consumo energético del establecimiento o industria. Incluye el diagrama de funcionamiento, información esencial para la vinculación, comprensión y validación de datos en las diferentes secciones de la Cédula de Operación Anual.

En el recuadro siguiente se presenta la recopilación de la información que se requiere, las fuentes de ella, los errores más comunes y los ejemplos y formatos de bitácora disponibles para arreglar el problema y para la recopilación de datos.

Recuadro C. Información necesaria para reportar la Sección I de la COA

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Apartado 1.1 Operación y funcionamiento	
Información que se solicita: Información relacionada con el proceso industrial	
<ul style="list-style-type: none"> • Documentos de soporte y referencias: diagramas de flujo de proceso (DFPs), diagramas de tuberías e instrumentación (DTIs), formato de solicitud del trámite de la Licencia Ambiental Única (LAU), licencia de funcionamiento, Lista de equipos 	
<ul style="list-style-type: none"> • No se indican todos los equipos y actividades donde hay emisiones y transferencias • No existe un flujo en el diagrama (omisión de flechas) • No hay relación entre los puntos de generación y puntos de emisión • Omisión de simbología de entradas y salidas en las etapas de proceso • No hay congruencia entre el los puntos de generación y de emisión (en el diagrama) y la información de la Sección II • Omisión del reporte de los equipos especificados en la en la Licencia como equipos, maquinaria o actividad ⚠️ El apartado 1.1 está vinculado con las secciones I y II por lo que si el diagrama de operación y funcionamiento está mal, no se podrán reportar correctamente las tablas de las secciones referidas. 	<p>Algoritmo 1.1. Elaboración del diagrama de operación y funcionamiento</p> <p>Figura 21 Imagen de la tabla del formato oficial de la COA con la simbología para elaborar el diagrama de funcionamiento del apartado 1.1</p> <p>Ejemplo 1.1 Diagramas de operación y funcionamiento</p>
Tabla 1.2 Insumos	
Información que se solicita: No. CAS, nombre comercial y químico, estado físico, forma de almacenamiento y datos de consumos anuales de insumos.	
Documentos de soporte y referencias: información de compras, almacenes e inventarios, hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS por sus siglas en inglés).	
<ul style="list-style-type: none"> • No se reportan los insumos. ⚠️ Se deben reportar todas las materias primas e insumos utilizados en el proceso productivo y en los servicios auxiliares, incluyendo aquellas que son RETC • Se reportan combustibles usados para 	<p>Recuadro 22 Propuesta de bitácora para la recopilación de información de insumos</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<p>generar energía como insumos, ⚠️ Éstos se reportan en la tabla 1.4</p> <ul style="list-style-type: none"> ⚠️ El consumo de agua sólo se reporta en esta tabla cuando se trata de una materia prima y forma parte del producto final. <p>Inconsistencias en la forma de almacenamiento en virtud del tipo de material almacenado</p>	
Tabla 1.3 Productos y subproductos	
Información que se solicita: nombre del producto o subproducto, estado físico, forma de almacenamiento capacidad de producción instalada y producción anual	
Documentos de soporte y referencias: Certificados de calidad de productos y subproductos, registros de producción y ventas	
<ul style="list-style-type: none"> Omisión del reporte de productos y subproductos, o bien los reportan incompletos La producción anual reportada es mayor que la capacidad instalada. ⚠️ Cuando la producción anual sea mayor a la autorizada en la Licencia otorgada por la SEMARNAT se deberá tramitar la actualización de dicho documento. ¡La producción anual no debe rebasar la capacidad autorizada en la Licencia! Inconsistencias en la forma de almacenamiento en virtud del tipo de material almacenado 	<p>Recuadro 23 Propuesta de bitácora usada para la recopilación de información de productos y subproductos</p>
Tabla 1.4.1 Consumo anual de combustibles para el uso energético	
Información que se solicita: área de consumo, tipo de combustible, contenido de azufre del combustible y consumo anual.	
Documentos de soporte y referencias: recibos de compra de combustibles, facturas, certificados de calidad de los combustibles y hojas de datos de seguridad	
<ul style="list-style-type: none"> Omisión del reporte del combustible utilizado Omisión del reporte de % o contenido de azufre del combustible, ⚠️ mismo que es obligatorio para los combustibles sólidos y líquidos. ⚠️ Considerar en el reporte de los combustibles, desagregar (ponerlos por separado) los consumos que se tienen en proceso, servicios auxiliares y autogeneración de energía eléctrica 	<p>Algoritmo 1.4.1-1 Consumos de combustible a partir de la medición directa</p> <p>Recuadro 24 Bitácora (sugerida) para la recopilación de información de consumo de combustibles por equipo mediante medición directa</p> <p>Recuadro 25 Bitácora (sugerida) para la recopilación de información de consumo de combustibles totales mediante medición directa</p> <p>Algoritmo 1.4.1-2 Consumos de combustible a partir de compras y facturación</p> <p>Ejemplo 1.4.1-2 Estimación de Consumos de combustible a partir de compras y facturación</p> <p>Algoritmo 1.4.1-3 Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico</p> <p>Ejemplo 1.4.1-3 Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico</p>
Tabla 1.4.2 Consumo anual de energía	
Información que se solicita: consumos de energía (suministro externo)	
Documentos de soporte y referencias: recibos de consumo de energía eléctrica	
Omisión del reporte de consumo de energía eléctrica	Recuadro 26 Campos de la hoja de cálculo usada como bitácora (sugerida) para el registro de consumos

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	de energía eléctrica

Metodologías de estimación y algoritmos de cálculo

En esta parte del documento se plantean (a manera de sugerencia) varias formas de procesar la información para llenar adecuadamente la sección I a V de la COA, con el fin de facilitar el reporte adecuado de la COA y así contar con información confiable.

Las compañías, datos y cantidades presentes en los ejemplos de este documento, fueron determinadas de forma arbitraria basándose en la información encontrada en la literatura al respecto, buscando solamente crear un escenario adecuado para explicar claramente alguna metodología, algoritmo y/o aspecto útil para la recopilación de información, estimación de emisiones y/o forma de hacer el reporte (donde reportar cada cosa en el programa de la COA). Cada sitio debe asegurarse de utilizar la información más adecuada ya éste es el responsable de las estimaciones que haga y lo que reporta. Si llegara a haber algún parecido de una empresa o instalación (ficticia) usada en un ejemplo con alguna real, es solamente por el uso de literatura sobre procesos y efectos ambientales que existe sobre las actividades realizadas en el sector industrial y no pretende acusar o dañar a ninguna empresa, planta o sitio de trabajo. Esta guía solo pretende ayudar a elaborar un buen reporte de la COA y a corregir los errores detectados en la misma para así, tener información confiable que permita tomar las mejores decisiones en beneficio de todos.

Para hacer más clara la interpretación de esta parte de la guía, en la redacción, se considera que la palabra “tabla” se refiere a una parte del formato de reporte de la COA (como la “tabla 2.3”, la “tabla 5.2” etc.) donde se debe de cargar cierta información a menos que se especifique otra cosa (por ejemplo, la “tabla 2.6 del protocolo de fugas de las USEPA” es una parte del documento o referencia anterior y no del formato de reporte de la COA), mientras que la palabra “recuadro” se refiere a una parte de este documento (esta guía) donde hay información, resultados, etc. La palabra “apartado” se usa como sinónimo de “tabla” (para no repetirla tantas veces) o para referirse a una parte del formato de reporte de la COA (por ejemplo, el apartado 1.1 contiene el diagrama de operación y funcionamiento y no es propiamente una tabla de información).

Los ejemplos presentados en esta guía se hicieron pensando en la estimación y/o forma (adecuada) de reportar la información que se necesita para un cierto apartado o tabla de la COA, sin embargo, algunos de ellos aplican para varios apartados o tablas de la COA.

Estas guías están sujetas a modificación por actualización y mejora, por lo cual se podrá completar con otras fuentes de información que el sector industrial pueda

proporcionar, sugerir o proponer mediante la revisión y diálogo con la autoridad.

Apartado 1.1. Operación y funcionamiento

Para hacer adecuadamente el diagrama de operación y funcionamiento, se sugiere el siguiente algoritmo que incluye una serie de instrucciones para elaborar el diagrama de operación y funcionamiento; lo anterior con el fin de brindar los conocimientos necesarios, respecto a la actividad productiva de la empresa y facilitar el reporte de la COA.

Algoritmo 1.1. Elaboración del diagrama de operación y funcionamiento

1. Se consiguen y consultan los documentos con la información, como pueden ser: DFPs, DTIs, la Solicitud de la Licencia, Licencia otorgada por la SEMARNAT en materia de atmósfera y Lista de maquinaria y equipos.
2. A partir del DFP se identifican los procesos (o subprocesos), considerando que es importante reportar aquellos que usen sustancias RETC, que generen emisiones al aire, agua, suelo, residuos sólidos y/o residuos peligrosos, dada la estructura del software de la COA se sugiere, al menos, identificar 2 tipos de diagramas, de proceso productivo y el de los servicios auxiliares.
3. Para cada subproceso, identificar las etapas o bloques que lo conforman, así como las transferencias de materia (corrientes de proceso) y ocasionalmente de energía (al menos para el reporte de energía), mismas que se representan con flechas, (muy importantes para indicar los flujos y corrientes).

También para los productos y subproductos, es conveniente que se indiquen las etapas donde se obtienen finalmente y quedan almacenados (no los que se forman y se consumen dentro del mismo proceso), ya que será necesario para llenar la tabla 1.3, aunque en ésta no se hace la vinculación al diagrama de operación y funcionamiento, en algunos casos, es posible encontrar esta información en los documentos de descripción de proceso.

4. Cuando haya una corriente de proceso o de residuos o alguna otra, que pase de un subproceso (diagrama) a otro, se recomienda representar la secuencia mediante conectores, se sugiere que en el diagrama de origen se coloque el número de identificación del diagrama de destino y viceversa.

Usualmente se usa una flecha para seguir la ruta de la materia prima “principal” transformándose en el producto, si llega a ser necesario, se pueden usar flechas de diferente color y grosor para identificar la naturaleza de las corrientes

5. De cada etapa identificar claramente las entradas como son insumos, agua, combustibles y las salidas como son emisiones de contaminantes (aire, agua, suelo), generación de residuos sólidos, residuos peligrosos, transferencias (de

agua, residuos sólidos y residuos peligrosos) a reciclaje, reutilización, coprocesamiento, tratamiento, incineración, alcantarillado y/o disposición final u otros.

Para identificar las entradas y salidas en cada etapa de proceso, se deberá de utilizar la simbología especificada en la siguiente figura, que pertenece al formato oficial de la COA.










SIMBOLOGIA		
ENTRADAS	SALIDAS	TRANSFERENCIA
 Entrada de insumo	 Emisión de contaminantes a la atmósfera	 Transferencia total
 Consumo de combustible	 Descarga de agua residual	 Transferencia parcial
 Uso de agua	 Generación de residuos peligrosos	Ru Reuso
	 Generación de residuos sólidos	Re Reciclaje
	 Pérdida de energía	Oe Obtención de energía
		Al Alcantarillado
		Tt Tratamiento
		Df Disposición final
		Of Otros

Figura 23. Imagen de la tabla del formato oficial de la COA con la simbología para elaborar el diagrama de funcionamiento del apartado 1.1

En este paso se debe identificar únicamente si existen entradas o salidas en la etapa analizada.

6. Se copia o construye el diagrama, detallando la información en él, utilizando la simbología indicada, puesto que el reportar este apartado tiene mucho que ver con buscar, recopilar, ordenar información y capturarla.

Ejemplo 1.1. Diagramas de operación y funcionamiento

Un ejemplo útil para la construcción de estos diagramas es el correspondiente a un proceso de aceración vía EAF que es común en instalaciones de siderurgia.

Para este caso, la planta cuenta con una alimentación de chatarra de hierro, un EAF, una sección de metalurgia secundaria, un sistema de colada continua para hacer billets y sistemas de apoyo para coleccionar polvos, preparar las ollas, refractarios y distribuidores.

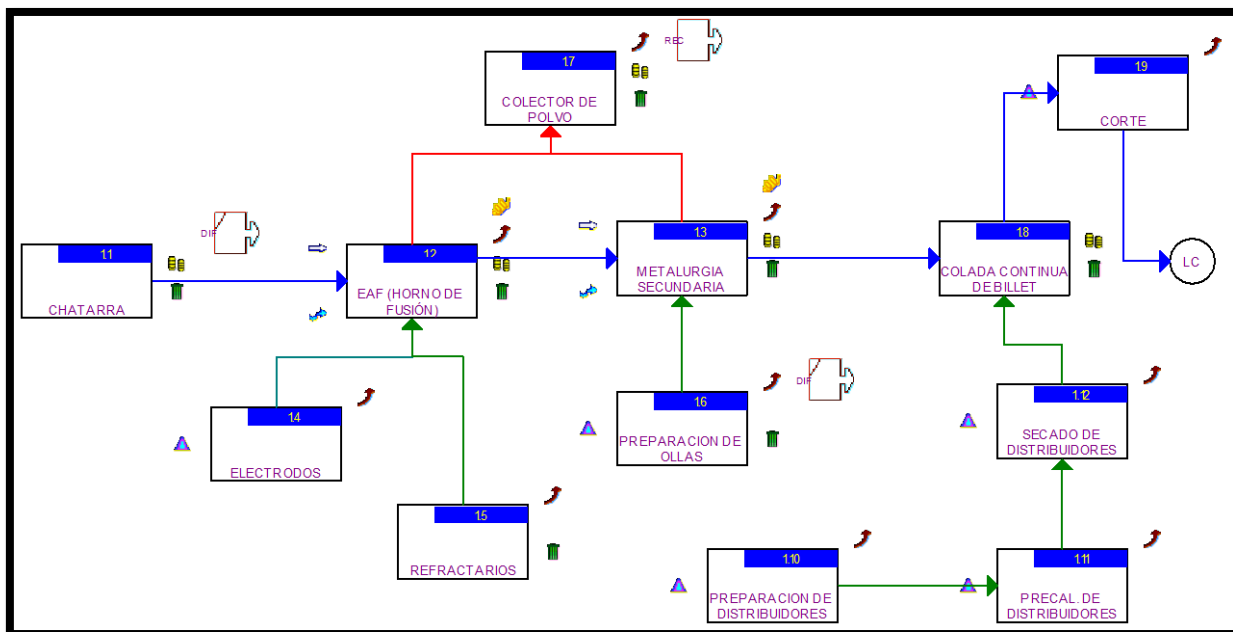


Figura 24. Ejemplo de un diagrama de operación y funcionamiento de un proceso de aceración vía horno de arco eléctrico (EAF)

En este ejemplo se utilizó la descripción de proceso contenida en este documento, el usuario debe de recurrir a los DFPs y DTIs correspondientes para poderlo hacer.

Para este caso se decidió que cada cuadro con su nombre en letras mayúsculas represente una etapa del proceso.

Las flechas rojas indican el flujo de subproductos que son residuos (desechos) del proceso, como los polvos generados en la operación de los hornos, las de color verde representan los insumos utilizados, las azules corresponden a la secuencia de transformación de la materia prima (rica en hierro) en acero.

Los insumos consumidos son: combustible, utilizado en diversos puntos para generar energía, los refractarios de reposición, aunque son insumos, se manejaron como una etapa separada por su importancia, así como lo referente a las ollas y distribuidores, además de que también involucran un pequeño protocolo para revisarlos, reemplazarlos, adecuarlos y manejar los residuos.

Durante el proceso se genera residuos peligrosos y sólidos que se indican en cada caso (aceites hidráulicos gastados, residuos separados de la chatarra, restos de material refractario con residuos de metales, polvos colectados etc.). Las emisiones a la atmósfera constan de partículas principalmente y gases de combustión (secado).

Este proceso se conecta con el tren de laminación en caliente, indicado por el conector "LC".

Respecto a la numeración, igual que en el ejemplo anterior, fue escogida de forma

arbitraria, no hay una razón en particular para que todos los números empiecen con 1 más allá de la conveniencia y practicidad para elaborar el diagrama. Un fragmento de la tabla resumen generada por el software se muestra en la siguiente figura.

Tabla resumen									
No. del Diagrama	Nombre del equipo, maquinaria, actividad y operación unitaria	Entrada			Salida				
		Entrada de insumo	Consumo de combustible	Uso de agua	Emisión al aire	Descarga de agua residual	Generación de residuos peligrosos	Generación de residuos sólidos	Perdida de energía
1 -- PROCESO DE ACERACION									
1.1	CHATARRA						X	X	
1.10	PREPARACION DE		X		X				
1.11	PRECAL. DE DISTRIBUIDORES		X		X				
1.12	SECADO DE DISTRIBUIDORES		X		X				
1.2	EAF (HORNO DE FUSIÓN)	X		X	X		X	X	X
1.3	METALURGIA SECUNDARIA	X		X	X		X	X	X

Figura 25. Ejemplo de la tabla resumen generada por el programa de reporte de la COA de un proceso de aceración vía horno de arco eléctrico

Si el proceso es muy complicado y/o la recopilación de la información no es un procedimiento inmediato, se recomienda utilizar hoja de cálculo con un formato parecido a ésta tabla resumen, para ir almacenando y detallando la información necesaria, si el caso lo amerita, en esta misma hoja se pueden guardar las referencias de los documentos (y personas) de donde se obtuvo la información. La siguiente figura muestra una imagen de la hoja de cálculo usada para estos ejemplos.

Etapa	Dia	Bloq	Entradas			Salidas					Transferencias			
			⇒	△	↻	↶	💧	▽	🗑️	🌀	⇒	⇒	⇒	
Chatarra	1	1						X	X				DF	
Preparación de dsitribuidores	1	10		X		X								
Precal de distribuidores	1	11		X		X								
Secado de distribuidores	1	12		X		X								
EAF (Horno de fusión)	1	2	X		X	X		X	X	X				
Metalurgia secundaria	1	3	X		X	X		X	X	X				

Figura 26. Imagen de la hoja de cálculo usada para apoyar la elaboración del diagrama de operación y funcionamiento (apartado 1.1)

Tabla 1.2. Insumos

Para el reporte de insumos, se deberá de recopilar la información de éstos en la instalación partiendo de hojas de datos de seguridad y facturas de compras, así como información de otras fuentes y documentos, que le permitan conocer la composición y número CAS de las sustancias usadas.

Se sugiere vincular los insumos que se registren en la tabla 1.2 con los puntos manifestados en el diagrama de operación y funcionamiento, para facilitar el reporte en el software de la COA.

Es importante realizar las conversiones necesarias, para homologar a una misma unidad los consumos para cada insumo, antes de realizar la suma total para obtener el consumo anual.

Se sugiere utilizar una hoja de cálculo, un documento de texto o cualquier otro medio para registrar la información que se vaya obteniendo de los insumos, en el siguiente recuadro se hace una propuesta de formato de bitácora como ayuda para recopilar la información requerida en la tabla 1.2 de la COA.

Recuadro 22. Propuesta de bitácora para la recopilación de información de insumos

Factura	Nombre comercial	Nombre químico	# CAS	Lugar de consumo	Punto de consumo	Estado físico	Forma de almacenamiento	Consumo anual	Unidad

Tabla 1.3. Productos y subproductos

Para el reporte de productos y subproductos, se debe recopilar la información sobre la producción anual, nombre de los productos y subproductos, así como las cantidades correspondientes, esta información podrá obtenerla de las facturas de venta y niveles de producción.

Obtener los niveles de producción durante el periodo anual a reportar (diarios, mensuales, etc.), realizar las conversiones necesarias, para homologar a una misma unidad los niveles obtenidos y realizar la sumatoria de los mismos para obtener la producción anual para cada producto o subproducto. El recuadro que a continuación se muestra, sugiere un formato de bitácora para recopilar la información de manera continua durante el periodo anual de actividades.

Recuadro 23. Propuesta de bitácora usada para la recopilación de información de productos y subproductos

Producto/subproducto	Factura	Mes	Masa y/o volumen
Producto C			
Total producto C			
Subproducto D			
Total Subproducto D			

Es importante mencionar que se deberá tener disponible la Licencia de Funcionamiento o Licencia Ambiental Única que otorga la SEMARNAT, en materia de atmósfera, con la finalidad de verificar si se cumple con la capacidad autorizada en la misma, de lo contrario se tendrán que realizar las gestiones correspondientes para tramitar la actualización de la Licencia, por incremento en la capacidad de producción autorizada.

Nota 1: La información que se captura en la tabla 1.3 de la COA a través del software de reporte, no está vinculada al diagrama de operación y funcionamiento (apartado 1.1).

Nota 2: Para el caso de los productos y subproductos auto consumidos, en la tabla 1.3 de la COA se debe de reportar la producción neta (hacer la aclaración correspondiente del autoconsumo en “observaciones”).

Tabla 1.4.1. Consumo de combustibles para uso energético

En esta tabla se alimenta la información sobre el consumo de combustibles, especificando la cantidad y tipo utilizados en la producción de energía en el proceso productivo, servicios auxiliares y en la auto generación de energía eléctrica, es importante verificar las conversiones de unidades, que las cantidades totales de combustible usado sean congruentes con los reportados (por equipo) en la tabla 2.1.1 y que las emisiones a la atmósfera producidas por usar dichos combustibles se calculen tomando como base los consumos reportados en las secciones 1.4.1 y 2.1.1.

Según aplique, se tienen diferentes formas de estimar el consumo de combustibles en la instalación:

1. Registro puntual de consumo de combustible,
2. Compras de combustible,
3. Estimación indirecta por la energía consumida teórica y poder calorífico.

Algoritmo 1.4.1-1. Consumos de combustible a partir de la medición directa

Cuando los equipos que consumen combustibles, cuenten con una forma de medir y registrar adecuadamente qué y cuanto combustible utilizan, se suman los consumos de los diferentes tipos de combustible, la información probablemente se encuentre en bitácoras de operación, registros de control. El contenido de azufre (%) presente se puede obtener de certificados de calidad, de las facturas de cada uno de los combustibles, de los análisis de laboratorio y/o de los balances de materia de los procesos que los elaboran.

Si las especificaciones de la cantidad de azufre de un tipo de combustible son diferentes, entonces se debe reportar como otro tipo (por ejemplo habría 2 tipos de diesel, cada uno con diferentes porcentajes de azufre). Vea la “Metodología 2.1.1 para reportar adecuadamente un equipo que utiliza dos o más combustibles

diferentes”, ubicado en las metodologías y algoritmos de la tabla 2.1.1.

Se recomienda utilizar una bitácora como la siguiente, de ser posible, en una hoja de cálculo para hacer éstos automáticamente y para llevar un registro de la información con la que se obtendrá el consumo de combustible anual, útil para reportar la tabla 2.1.1.

Recuadro 24. Bitácora (sugerida) para la recopilación de información de consumo de combustibles por equipo mediante medición directa

ID del Equipo de combustión	Combustible	Fuente de información (lectura de medidor, bitácora)	Consumos mensuales												Unidades	Consumo Anual (Σ consumos mensuales)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Total																	

Para reportar lo pedido en tabla 1.4.1 se hace la sumatoria por tipo de combustible. ⚠ ¡Cuidado con las unidades!, se sugiere que se realicen previamente las conversiones necesarias para homologar a la misma, todos los consumos para cada combustible. El siguiente recuadro muestra una bitácora sugerida para tal fin.

Recuadro 25. Bitácora (sugerida) para la recopilación de información de consumo de combustibles totales mediante medición directa

Tipo de combustible	Consumo anual	unidad
GN		m3
LP		m3
Diesel		L
Combustóleo		L
Etc.		L

Este “algoritmo” también sirve para generar la información requerida para la tabla 2.1.1 en ella, se cargan los consumos particulares anuales (sumatoria de los consumos mensuales) de cada equipo.

Algoritmo 1.4.1-2. Consumos de combustible a partir de compras y facturación

En una planta o sitio, si los registros de compra y operación de la planta, permiten saber cuánto combustible se “compró” y fue consumido en un período de tiempo fácilmente identificable, se suman las cantidades por tipo de combustible.

Haciendo un balance de materia simple, apoyándose en los registros correspondientes y en la medida de inventario al inicio y fin de año de reporte podrá obtener los consumos anuales.

Este algoritmo podrá aplicarse también para la tabla 2.1.1, si se pueden vincular claramente los volúmenes de combustible “comprado” o adquirido, a los equipos que la consumen.

Ejemplo 1.4.1-2. Estimación de consumos de combustible a partir de compras y facturación

Supóngase que una empresa del sector utiliza gas natural ha recopilado la siguiente información a partir de sus inventarios de combustible al inicio y final de año.

Registro	Tipo de combustible	Cantidad (m3, kg, ton)	Unidades
Inicio de año	GN	38,234.00	m3
23-Feb	GN	812,334.00	m3
05-May	GN	924,534.00	m3
06-Jun	GN	910,533.00	m3
18-Sep	GN	823,894.00	m3
10-Oct	GN	873,336.00	m3
20-Dic	GN	1,256,034.00	m3
Fin de año	GN	689,967.00	m3
Balance	GN	6,252,398.00	m3

Figura 27. Imagen de la hoja de cálculo y bitácora sugerida para la recopilación de Información por una empresa sobre inventarios de combustible del año a reportar

Al final, haciendo un balance se obtiene el consumo de gas natural; esto es a partir de la cantidad de combustible al final del año de reporte, menos la cantidad al inicio de éste, más la suma de los registros de autoconsumos (indicadas aquí por la fecha para efectos del ejemplo solamente) realizadas durante dicho año.

En este escenario no se puede llenar la tabla 2.1.1, donde se ejemplifican varias metodologías que pueden servir para tal fin.

Algoritmo 1.4.1-3. Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico

Cuándo no se cuenta con la cantidad total de combustible utilizado por cada equipo o etapa del proceso en el periodo de reporte, ni con la cantidad total de cada tipo de combustible usado, se puede estimar con el cálculo correspondiente de la energía consumida y el poder calorífico de cada combustible, para ello se necesita tener claro qué combustibles se utilizaron en cada equipo, la capacidad de operación de cada uno de ellos (capacidad de generar energía por unidad de tiempo), el poder calorífico de cada tipo de combustible (energía térmica que es capaz de liberar por unidad de masa o volumen) y el tiempo de operación correspondiente. Dada la relación entre la información requerida en las tablas 1.4.1 y 2.1.1, el siguiente algoritmo y ejemplo sirve para ambas.

1. Para el caso de realizar el cálculo para la tabla 1.4.1 y 2.1.1 es necesario conseguir o tener a la mano la información que se solicita de cada equipo, si la complejidad y/o abundancia de información lo amerita, se sugiere construir una bitácora en una hoja de cálculo que conga los mismos campos que se muestran en la tabla 2.1.1 del software de la COA como son: clave del equipo, punto de generación, tiempo de operación (h/año), tipo de emisión, capacidad de diseño del equipo, capacidad de operación del equipo, unidades de las capacidades, tipo de quemador y tipo de combustible.
2. Se multiplica capacidad de operación (potencia de generación de energía térmica real) por el tiempo de operación, para obtener la energía generada por cada equipo.
3. Si un equipo utiliza 2 o más tipos de combustible, se debe de tener claro con qué capacidad de operación trabaja con cada combustible y el mismo equipo se reportará tantas veces como combustibles utilice, solo cambiando la información pertinente.

Por ejemplo, el tiempo que opera con el combustible "A" puede ser diferente al que use con el combustible B, la capacidad de diseño y de operación con uno u otro puede ser también diferente.

Si el equipo utiliza dos o más combustibles al mismo tiempo, hay que tener claro la capacidad de operación teórica, real, tipo de quemador y tiempo de operación de cada tipo de quemador, para considerarlo al momento realizar los cálculos para la estimación de consumos de combustibles teóricos, además se reportará tantas veces como tipos de combustible haya usado, con la información pertinente para cada caso.

4. Se divide la energía generada (por tipo de combustible) entre el poder calorífico de cada combustible utilizado en el equipo, obtenido de algún certificado u otra fuente fiable; para obtener el consumo de éste en unidades de volumen o masa por año. Hasta aquí es suficiente para lo que se pide en la tabla 2.1.1 en lo que corresponde a consumos por equipo.

Sí un equipo consume más de un tipo de combustible, se reportará, tantas veces como tipos de combustible haya usado, con la información pertinente para cada caso.
5. Se suman los consumos de combustible de cada equipo, agrupándolos por tipo de combustible (se suman todos los equipos que consuman el mismo tipo de gas natural, carbón etc.), el resultado es lo que se carga en la tabla 1.4.1.
6. Repetir este algoritmo por cada tipo de combustible utilizado en el establecimiento.

Ejemplo 1.4.1-3. Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico

Supóngase que una cierta empresa del sector metalúrgico utiliza equipos de combustión en su proceso para este ejemplo. En la siguiente figura se muestra un fragmento de una hoja de cálculo utilizada para almacenar la información y hacer los cálculos a reportar.

Clave de equipo	Punto de generación	Tiempo de operación (h/año)	Tipo de emisión	Capacidad de diseño del equipo (W)	Capacidad de operación (W)	Tipo de quemador	Tipo de combustible	Energía (GJ) teórica consumida	PCB GJ/unidad	Consumo teórico de combustible
029 (Calentador)	2.32	8,000	C	1,162,639	1,058,001	330 Cañon	Gas Natural (m3)	30,470.44	0.03664766	831,443.08
029 (Calentador)	2.44	7,550	C	2,906,597	2,761,267	330 Cañon	Gas Natural (m3)	75,051.25	0.03664766	2,047,913.98
029 (Calentador)	2.14	8,200	C	2,092,750	2,071,823	332 C. Abierto	Diesel (m3)	61,160.20	34.10725254	1,793.17
028 (Caldera)	5.12	8,132	C	871,979	837,100	332 C. Abierto	Gas LP (m3)	24,506.27	3.73400000	6,563.01
028 (Caldera)	6.11	7,300	C	209,275	194,626	332 C. Abierto	Gas Natural (m3)	5,114.76	0.03664766	139,565.94

Figura 28. Fragmento de la hoja de cálculo utilizada para hacer el cálculo del consumo de combustibles para la tabla 1.4.1 y la 2.1.1, ésta se editó para hacer visibles los números

El cálculo de energía utilizada se hizo considerando las conversiones propias de unidades, para este caso, un watt es un Joule por segundo, una hora son 3600 segundos, un giga Joule (GJ) son mil millones de joules (1×10^9), de forma general la conversión se hizo así:

$$\text{Watt} = \frac{\text{J}}{\text{s}}, \left(\text{Potencia en } \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{\text{hora}} * \frac{\text{Horas de Op}}{\text{año}} \right) / 1 \times 10^9 = \text{energía en GJ/año}$$

La información de los combustibles fue tomada del (IPCC, 2003) y la hoja de cálculo usada marca las unidades en las que está el cálculo realizado de forma automática por la misma.

Para el caso de combustibles propios (“gas de alto horno”, “gas de coque” por ejemplo) en la industria metalúrgica, se puede usar la información que se tenga sobre ellos en particular (poder calorífico y factores de emisión de contaminantes) si es que son mejores que los encontrados en la literatura, incluso se alienta a que se publiquen de ser viable (previo aviso a la autoridad para que ésta determine si procede algún trámite en la materia).

Para obtener la masa (o volumen) del combustible usado, se divide la energía obtenida entre el poder calorífico por unidad indicada en la selección del combustible (m^3 , ft^3 , kg, ton etc.):

$$\frac{\frac{\text{GJ}}{\text{año}}}{\frac{\text{GJ}}{\text{unidad}}} = \frac{\text{unidad}}{\text{año}}$$

La información a reportar en la tabla 1.4.1 se infiere directamente de la hoja de cálculo, se consumieron $3,018,923 \text{m}^3$ de gas natural consumidos en dos

calentadores y una caldera mas 1,793.17m³ de diesel y 6,563.01m³ de gas LP. Adicionalmente se ingresa el % de azufre de cada combustible, el dato se copia de la fuente (certificados de calidad por ejemplo).

Para el caso de instalaciones de metalurgia (MyM) los calentadores y calderas son equipos que con frecuencia se utilizan y además se deben reportar en esta sección.

La información de esta tabla debe de ser congruente con la ingresada en la 2.1.1 y como se puede ver, este ejemplo aplica también para dicha tabla, la diferencia fundamental es que en la 1.4.1 se reporta el total de cada tipo de combustible y en la 2.1.1 se detalla por equipos y se vincula al diagrama de operación y funcionamiento (apartado 1.1).

Tabla 1.4.2. Consumo anual de energía eléctrica

Para esta tabla es necesario revisar los documentos que contengan la información, (recibos de energía eléctrica), si es necesario, hacer sumas (cuidar las unidades) y hacer la captura.

Para el caso de las empresas que generen energía eléctrica a partir de otras fuentes que no sean combustibles fósiles, como por ejemplo a partir de desechos o sistemas de recuperación de energía, entonces se especificar en el apartado de “observaciones”.

La recopilación de información se puede hacer mediante una hoja de cálculo a manera de bitácora de registro de consumos de energía eléctrica, para obtener el dato de consumo anual que debe reportar en la COA.

Recuadro 26. Campos de la hoja de cálculo usada como bitácora (sugerida) para el registro de consumos de energía eléctrica

Mes	Factura	Consumo*
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
Total		

* Kiliwatt/hora, Watt/hora, Megawatt/hora

REGISTRO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

Para la elaboración de esta sección es conveniente haber calculado y obtenido con anterioridad los datos siguientes:

- Consumo de combustible en los equipos de combustión,
- Número de chimeneas y ductos de salida que tiene la empresa y establecer sus características (diámetro y altura, entre otros),
- Identificar la normatividad aplicable a los equipos y actividades del establecimiento generadores de emisiones a la atmósfera,
- Identificar los contaminantes atmosféricos emitidos y los normados, según los equipos y actividades,
- Identificar los equipos de control de emisiones, instalados en la planta.

El siguiente recuadro presenta un resumen de la información requerida, sus fuentes, los errores más comunes y los medios disponibles para eliminarlos:

Recuadro D. Información requerida para reportar la Sección II de la COA

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Tabla 2.1.1 Características de la maquinaria, equipo o actividad que genera contaminantes	
Información que se solicita: clave del equipo o maquinaria, punto de generación, tiempo de operación, tipo de emisión, capacidad de diseño del equipo, capacidad de operación del equipo, equipo de combustión y/o actividad que genera emisiones a la atmósfera, tipo de quemador y consumos de combustibles por equipo	
Documentos de soporte y referencias: DFPs, DTIs, bitácoras de operación y mantenimiento de los equipos que generan emisiones a la atmósfera, manual de diseño del equipo u hojas técnicas de los equipos, documentos con información de características de los equipos.	
<ul style="list-style-type: none"> • Incongruencia en el tipo de combustibles reportados • Incongruencia entre el consumo anual de combustible vs los consumos parciales por equipo, ⚠️ La información de las tablas 1.4.1 y 2.1.1 debe ser congruente o aclararse porque no en el apartado de "observaciones". • Se reporta el consumo anual de uno o más combustibles sin definir en qué equipos se consumen • Se reporta un consumo global de combustible pero esta cantidad es reportada como consumo de cada equipo. • No se reporta ningún combustible en la tabla 1.4.1 sin embargo sí en la 2.1.1. • Incongruencias sobre los datos de capacidad, horas de operación y tipo de 	<p>Algoritmo 2.1.1 Cálculo de la energía teórica consumida total y fracciones de consumo energético por equipo</p> <p>Recuadro 27 Bitácora (sugerida) para la estimación de consumo de combustibles mediante el cálculo de la energía consumida teórica</p> <p>Metodología 2.1.1 para reportar adecuadamente un equipo que utiliza dos o más combustibles diferentes</p> <p>Figura 27 Diagrama de ejemplo de reporte de un equipo que utiliza más de un tipo de combustible</p> <p>Ejemplo 2.1-1 Cálculo de la energía teórica consumida total y fracciones de consumo energético por equipo</p> <p>Figura 28 Imagen de la hoja de cálculo usada para hacer la estimación del consumo de combustibles mediante el consumo teórico total de energía y las correspondientes fracciones (de consumo) de cada equipo de combustión.</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<p>combustible usado, ⚠️ La estimación del consumo energético para cada uno de los equipos, deberá considerar la capacidad de operación del equipo y el tiempo de operación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se reporta la capacidad del lo(s) equipo(s) de combustión y horas de operación pero omiten el consumo de combustible • En el diagrama de flujo se indica que hay consumo de combustible pero no se ve reflejado en esta. 	
Tabla 2.1.2 Características de las chimeneas y ductos de descarga de las emisiones conducidas en la tabla 2.1.1	
Información que se solicita: ducto o chimenea, punto de emisión, punto(s) de generación relacionados, alturas, diámetro interior o diámetro equivalente, velocidad de flujo de gases, presión de gases, fracción seca, gasto volumétrico, temperatura de gases de salida	
Documentos de soporte y referencias: Estudios de monitoreo de emisiones a la atmósfera	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión o valor “cero” de alguno de los parámetros como: diámetro, velocidad, gasto volumétrico o temperatura • El Gasto volumétrico no es congruente debido a consideraciones erróneas en las magnitudes de velocidad, diámetro y conversiones • Elección incorrecta u omisión de los puntos de generación relacionados con los puntos de emisión • Considerar erróneamente las unidades fijas establecidas en la COA 	<p>Figura 29 Características de la chimenea</p> <p>Recuadro 29 Detalle de la forma y unidades que se piden para reportar las características de las chimeneas en el software de la COA</p> <p>Figura 30 Esquematación de la altura 1 y altura 2 pedidas</p>
Tabla 2.2 Contaminantes atmosféricos normados	
Información que se solicita: punto de emisión, equipo o actividad sujeto a norma aplicable, parámetros normados, valor máximo permisible, monitoreos, sistema o equipo de control	
Documentos de soporte y referencias: NOM-043-SEMARNAT-1993 Emisiones a la atmósfera de partículas de fuentes fijas. NOM-085-SEMARNAT-2011. Contaminación atmosférica, niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición, Licencia de Funcionamiento o Licencia Ambiental Única, manual de diseño u hojas técnicas de los equipos de control, bitácoras de operación y mantenimiento de los equipos de control.	
<ul style="list-style-type: none"> • Asignación incorrecta de unidades de acuerdo a lo establecido en la NOM • Omisión de los monitoreos realizados, reportando solo los promedios • Cálculo erróneo de los promedios de los datos de monitoreo • Error en el reporte de monitoreo de años anteriores • Los equipos de control se consideran sujetos a norma (no es correcto!) • Omisión del reporte de parámetros normados • No se reportan todos los equipos sujetos a evaluación • Omisión de los equipos que no fueron 	<p>Algoritmo 2.2 Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados</p> <p>Ejemplo 2.2-1 Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados</p> <p>Algoritmo 2.2-1 Cálculo del promedio de mediciones directas</p> <p>Recuadro 33 Bitácora sugerida para recopilación de información para el reporte del promedio de los monitoreos.</p> <p>Ejemplo 2.2-2 Cálculo del promedio de mediciones directas</p> <p>Figura 31 Ejemplo de un estudio de emisiones a la atmósfera.</p> <p>Figura 32 Hoja de cálculo, usada como bitácora (sugerida), para la recopilación de información para el</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
monitoreados por realizar monitoreos representativos de algunos equipos <ul style="list-style-type: none"> • Omisión de parámetros específicos condicionados a través de la LAU • Inconsistencia entre el contaminante y el equipo de control reportado. • No se cumple la frecuencia de monitoreo establecida en la norma aplicable 	reporte del promedio de los monitoreos y cálculo de promedios de emisiones a la atmósfera
Tabla 2.3 Emisiones anuales	
Información que se solicita: contaminante, punto de emisión, emisión anual y método de estimación	
Documentos de soporte y referencias: Estudios de monitoreo de emisiones a la atmósfera, datos históricos, condiciones de operación e información de corrientes de proceso, compilado de factores de emisión de contaminantes atmosféricos de la Agencia de Protección Ambiental AP-42 de los Estados Unidos de América (USEPA, 2010), compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos del Inventario Nacional de Contaminantes, Australia (NPI, 2010), factores de emisión del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2003), (IPCC, 2006) para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (NGGIP, 2006), herramientas de cálculo de la Iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD) (GHGI, 2010). Documentos de referencias de las mejores técnicas disponibles para la prevención y control de la contaminación de la Unión Europea, conocidos como “BREF”.	
<ul style="list-style-type: none"> • La magnitud de la emisión reportada no corresponde con el consumo de combustible, ya sea determinada por el uso de factores u otros métodos utilizados por el establecimiento • No se reportan los contaminantes que son inherentes al tipo de combustible y/o a la normatividad aplicable • Selección errónea de unidades • Selección incorrecta de los puntos de emisión • Selección incorrecta del factor de emisión utilizado para la estimación de emisiones anuales • Las emisiones de los contaminantes normados no se determinan a partir de los datos de concentración obtenidos por medición directa. • Se omiten las emisiones generadas por los equipos presentes en el esquema de monitoreos representativos. 	Metodología 2.3 general para el reporte de la información en las diferentes tablas del formato de la COA Algoritmo 2.3-1 Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa Ejemplo 2.3-1 Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa Algoritmo 2.3-2 Estimación de emisiones a partir de factores de emisión Ejemplo 2.3.2 Estimación de emisiones a partir de factores de emisión (metano en calentadores y calderas) Ejemplo 2.3-3a Estimación de emisiones a partir de factores de emisión (ejemplo con alto horno) Ejemplo 2.3-3b Conversión de unidades para estimación de gases con factores de emisión Ejemplo 2.3-3c Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. Control de emisiones y estimación de eficiencia de remoción Ejemplo 2.3-3d Emisión de NOx, dioxinas y furanos en el alto horno y cambio de base de factores de emisión Ejemplo 2.3-4a Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes Ejemplo 2.3-4b Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes Ejemplo 2.3-4c Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes Algoritmo 2.3.3 Análisis de la aproximación polinomial

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	(lineal) con mínimos cuadrados, usando datos históricos Ejemplo 2.3-4d Estimación de emisiones de TOCs, COVs, noCOVs e/o inorgánicos a través de aproximación polinomial con logaritmos Recuadro 34 Fuentes de emisiones fugitivas en la industria, con la correspondiente modificación o mejora para disminuirlas y la disminución verificada de dichas mejoras. Ejemplo 2.3-5a y 2.3-5b Estimación de emisiones a través de aproximación polinomial con mínimos cuadrados, usando 20 y 5 datos históricos Algoritmo 2.3-4 Cálculo de las emisiones a partir de balance de materiales Ejemplo 2.3-6 Balance de materiales para la determinación de partículas emitidas a la atmósfera y determinación del cumplimiento de la NOM-043-SEMARNAT-1993 Ejemplo 2.3-7a Estimación de emisiones por especiación. caso I (composición de las emisiones igual a la del fluido conducido) Ejemplo 2.3-7b Estimación de emisiones por especiación caso II (composición de emisiones diferente a la del fluido conducido)

Metodologías y memorias de cálculo

Tabla 2.1.1. Características de la maquinaria, equipo o actividad que genera contaminantes

En esta tabla se reporta información muy relacionada con la 1.4.1, por lo que la forma de obtenerla es parecida (y además debe de ser congruente con esta última); a continuación se presentan diversas metodologías que pueden ser de utilidad para diferentes casos.

Una vez que se tiene a la mano la información que se solicita de cada equipo como la clave del equipo o actividad, punto de generación (el cual debe estar relacionado con el diagrama de funcionamiento de la COA.), tiempo de operación (h/año), tipo de emisión (conducida, fugitiva, a cielo abierto), capacidad de diseño del equipo, capacidad de operación del equipo (igual o menor a la de diseño), unidad (CC, MJ/hora etc.), tipo de quemador (frontal, atmosférico, tangencial etc.) y el tipo de combustible usado, se puede proceder al cálculo del consumo de combustible por equipo.

Nota: Si un equipo utiliza 2 combustibles, se puede reportar como “2” equipos,

teniendo en cuenta el tiempo de operación y la potencia térmica (cuanto calor genera por unidad de tiempo a partir de qué combustible, ver metodología 2.1.1 más adelante).

Medición directa del consumo de combustible

Igual que la presentada para la tabla 1.4.1 si es posible medir directamente cuanto combustible gasto cada equipo, se ingresa la información en esta tabla.

Compras de combustibles

Igual que la que se vio para la tabla 1.4.1 siempre y cuando sea posible.

Estimación indirecta por energía consumida teórica

Ver las metodologías de estimación para la tabla 1.4.1.

Algoritmo 2.1.1. Cálculo de la energía teórica consumida total y fracciones de consumo energético por equipo y fracciones de consumo energético por equipo

En el supuesto de que se obtenga la información del total de combustibles utilizados en el año pero no se cuente con la información de la capacidad calorífica de éstos, entonces a partir del cálculo de la energía teórica consumida total y las correspondientes fracciones de ésta por equipo, se puede asignar un consumo a cada uno de éstos, el algoritmo es parecido al de la metodología anterior.

1. Obtener consumo total por tipo de combustible (gas natural, diesel, carbón etc.), este dato debe de ser igual con el reportado en la tabla 1.4.1.

Si la complejidad y/o abundancia de información lo amerita, se pueda construir una bitácora que contenga los mismos campos que la misma mostrada en el software de la COA como la mostrada a continuación.

Recuadro 27. Bitácora (sugerida) para la estimación de consumo de combustibles mediante el cálculo de la energía consumida teórica

Clave del equipo maquinaria o actividad	Punto de generación	Tiempo de operación (h/año)	Tipo de emisión	Capacidad de diseño	Capacidad de Operación	Unidad	Equipo de combustión			
							Tipo quemador	Consumo Combustible	Tipo Combustible	Unidad

2. Se multiplica la capacidad de operación (potencia de generación de energía térmica real) por el tiempo de operación, para obtener la energía teórica utilizada por cada equipo.

Si un equipo utiliza dos o más tipos de combustibles, (opera con uno a la vez o varios al mismo tiempo) se debe de tener claro cuál es la capacidad operación, teórica, real, tipo de quemador y tiempo de operación para cada combustible, el mismo equipo se reportará tantas veces como combustibles utilice, solo cambiando la información pertinente (ver nota del paso 6 de este algoritmo más adelante).

3. Se suma la energía teórica de cada equipo, para obtener el total teórico de energía consumida.
4. La energía utilizada por equipo se divide entre el total teórico, obteniéndose una fracción (número entre cero y uno), que corresponde al consumo proporcional del tipo de combustible que se está analizando (gas natural, gas LP, carbón etc.)
5. Se multiplica cada fracción de consumo energético por el total del consumo de combustible en cuestión, mismo que debe estar reportado en la tabla 1.4.1, los resultados son los que se ingresan a la COA.
6. Este algoritmo se repite para cada tipo de combustible, como ya se mencionó, sí un equipo consume más de un tipo de combustible, se realizará el cálculo correspondiente para cada combustible y se reportará, tantas veces como tipos de combustible haya usado, con la información pertinente.

Metodología 2.1.1. para reportar adecuadamente un equipo que utiliza dos o más combustibles diferentes

Para aquellos equipos que consumen más de 1 combustible se recomienda indicar este equipo desde el diagrama de funcionamiento a través de un bloque y por cada combustible utilizado generar un bloque adicional, tomando como referencia para su identificación el mismo número que se generó para indicar al equipo, seguido por un número adicional consecutivo iniciando por el número 1 para el primer combustible utilizado, el número 2 para el segundo combustible utilizado, y así sucesivamente; de tal manera que en esta tabla (la 2.1.1) quedarán indicadas las características de operación del equipo conforme a cada tipo de combustible utilizado, de acuerdo al siguiente diagrama:

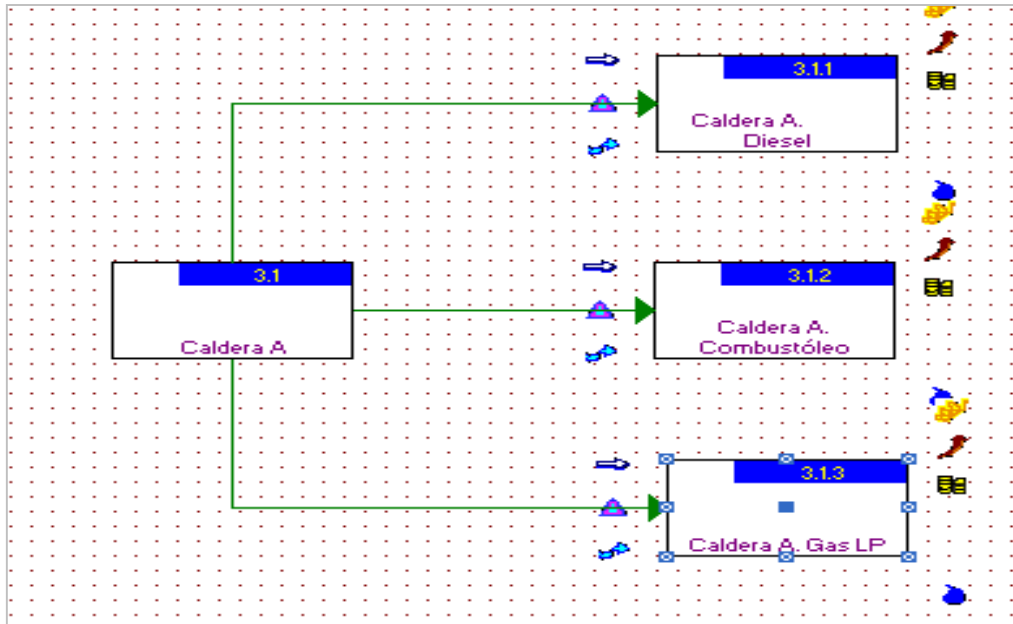


Figura 29. Diagrama de ejemplo de reporte de un equipo que utiliza más de un tipo de combustible

El bloque general es el 3.1, mientras que los bloques 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 son los insertados para subsanar la pequeña deficiencia del software y permitir capturar la información de equipos con estas características.

Ejemplo 2.1-1. Cálculo de la energía teórica consumida total y fracciones de consumo energético por equipo

Supóngase que una cierta empresa del sector metalúrgico utiliza equipos de combustión en su proceso para este ejemplo. La siguiente figura muestra una hoja de cálculo que se usó como apoyo para llenar la tabla 2.1.1 de la COA haciendo la estimación con el algoritmo descrito, en ella está la información colectada junto con los cálculos realizados.

Clave del equipo maquinaria o actividad	Punto de generador	Tiempo de op (h/año)	Tipo de emisión	Cap diseño	Cap Op	Unidad	Energía Con. MJ/año	Fraccion EC.	Tipo quemador	Consumo Comb	Tipo Combustible	Unidad
028	2.3	8,600	C	990	901	MJ/h	7,747,740	0.054	332 C. Abierto	211,411.61	GN	m3
028	2.4	8,600	C	3,200	3,040	MJ/h	26,144,000	0.181	332 C. Abierto	713,388.05	GN	m3
028	2.5	8,600	C	13,000	12,870	MJ/h	110,682,000	0.766	332 C. Abierto	3,020,165.87	GN	m3
028	2.3	8,000	C	1,050	1,008	MJ/h	8,064,000	0.294	330 Cañon	236.43	DI	m3
028	2.4	7,543	C	1,200	1,128	MJ/h	8,508,504	0.310	330 Cañon	249.46	DI	m3
028	2.5	7,765	C	1,500	1,395	MJ/h	10,832,175	0.395	330 Cañon	317.59	DI	m3
029	2.9	8,500	C	6,000	5,820	MJ/h	49,470,000	0.225	330 Cañon	13,248.53	LP	m3
029	2.11	7,550	C	7,000	6,370	MJ/h	48,093,500	0.218	330 Cañon	12,879.89	LP	m3
029	2.12	7,789	C	8,000	7,440	MJ/h	57,950,160	0.263	330 Cañon	15,519.59	LP	m3
029	2.13	7,344	C	9,000	8,820	MJ/h	64,774,080	0.294	330 Cañon	17,347.10	LP	m3

Figura 30. Imagen de la hoja de cálculo usada para hacer la estimación del consumo de combustibles mediante el consumo teórico total de energía y las correspondientes fracciones (de consumo) de cada equipo de combustión

La energía consumida es el producto de multiplicar el tiempo de operación (horas por año) por la capacidad de operación, es decir la capacidad real que tiene el equipo, misma que frecuentemente es menor a la de diseño:

$$\text{Capacidad de operación} \frac{\text{MJ}}{\text{h}} * \frac{\text{horas de op}}{\text{año}} = \text{Energía Consumida} \frac{\text{MJ}}{\text{año}}$$

Para calcular la fracción de energía consumida, se hizo la suma por tipo de combustible, a partir de la capacidad de operación o energía consumida real de cada equipo, obteniendo el total de energía consumida, para el caso del gas natural (GN) se sumó 7,747,740 MJ/año más 26,144,000MJ/h más 110,682,000MJ/año, dando un total de 144,573,740 MJ/año provenientes del consumo de este combustible, se hizo lo mismo para los otros de forma automática en la hoja de cálculo.

Luego se hizo la división de la energía consumida por año en cada equipo entre el total de energía consumida, para el mismo caso del gas natural se dividió 7,747,740, 26,144,000 y 110,682,000 entre 144,573,740 MJ/año, para obtener las fracciones 0.054, 0.181 y 0.766 (redondeado a 3 cifras decimales) respectivamente, se hizo lo mismo con los otros combustibles.

Ahora, con las fracciones calculadas y la información de los totales de consumo de combustibles (que deben ser los congruentes con los capturados en la tabla 1.4.1 de la COA), mostrados a continuación.

Recuadro 28. Resultados del cálculo del consumo de combustible estimando el consumo de combustibles mediante el consumo teórico total de energía y las correspondientes fracciones (de consumo) de cada equipo de combustión

Tipo de combustible	Consumo anual	unidad
Gas natural	3,944,965.54	m ³
Diesel	803.49	m ³
Gas licuado de petróleo (LP)	58,995.11	m ³

Nota: Las cantidades de cada combustible, son congruentes con los poderes caloríficos brutos obtenidos del (IPCC, 2003). Para el gas natural se tiene un PCB de 0.037GJ/ton, para el diesel es de 34.107GJ/m³ y el gas LP es de 3.734GJ/m³.

Se calcula cuánto combustible de cada tipo se utilizó en cada equipo al multiplicar el total de cada tipo de combustible por la correspondiente fracción para el equipo en cuestión, nuevamente, para el caso del gas natural, hay 3 equipos que lo consumieron, el cálculo consiste en multiplicar 0.054, 0.181 y 0.766 por el total del consumido en la instalación (3,944,965.54m³), dando 211,411.61, 713,388.05 y 3,020,165.97m³ consumidos respectivamente, se sigue el mismo procedimiento con los otros combustibles y equipos.

Tabla 2.1.2. Características de las chimeneas y ductos de descarga de las emisiones conducidas

En esta tabla requiere de información sobre las chimeneas y ductos que conducen las emisiones generadas en el proceso productivo, en este caso, en las instalaciones de metalurgia, la metodología a seguir es conseguir la información adecuada y capturarla.

Algunos de los documentos de donde se puede extraer la información son los estudios de muestreo de contaminantes, mismos que muchas veces traen información resumida explícitamente para llenar esta tabla de la COA, en la siguiente figura se muestra un ejemplo.

Informe de emisiones a la Atmósfera, detalle de las chimeneas		
INFORME:		
A) TABLA RESUMEN DE RESULTADOS PARA COA PUNTO 2,1,2		
Fecha de evaluación:		
Empresa:		
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Caldera No 2		
Diametro interior	(m)	0,60
Velocidad de flujo de gases [1]	(m/s)	14,12
Gasto Volumétrico [1]	(m3/min)	114,49
Temperatura de gases de salida [1]	(°C)	208

Figura 31.

Características de la chimenea Apartado de las características y condiciones de una chimenea, obtenidas de un estudio de emisiones a la atmósfera, solicitado por una empresa, en el cual se observa que se pidió al laboratorio, detallar información requerida por la tabla 2.1.2 de la COA.

Para poder realizar el reporte de esta información, hay que realizar las conversiones de unidades adecuadas, para ajustar las cantidades a la forma solicitada en el reporte de la COA se puede utilizar una hoja de cálculo con los campos mostrados en el siguiente recuadro.

Recuadro 29. Detalle de la forma y unidades que se piden para reportar las características de las chimeneas en el software de la COA

Ducto o chimenea	Punto de emisión	Puntos de generación relacionados	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Diámetro interior o equivalente (m)	Velocidad de flujo de gases (m/s)	Presión (mmHg)	Frac sec a (%)	Gasto volumétrico (m3/min)	Temperatura de gases de salida (°C)

Para reportar las alturas 1 y 2 de la chimenea (en metros), considere, que la altura 1 es la altura en metros de la chimenea o ducto de emisión medida a partir del nivel de piso y la altura 2 es la altura de la chimenea o ducto de emisión medida después de la última perturbación a la salida de la pluma de gases, tal como se muestra en la

siguiente figura:

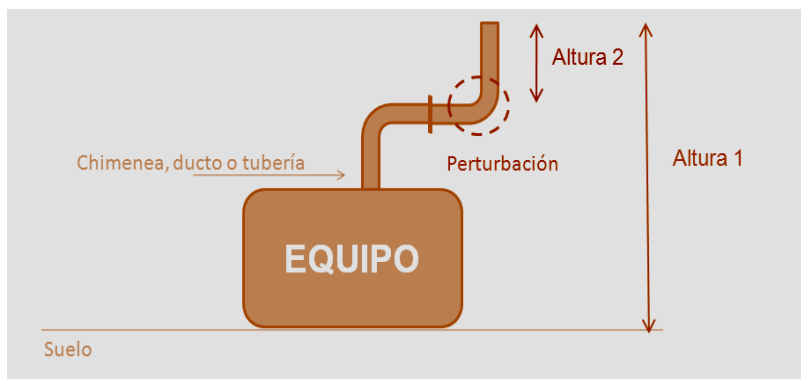


Figura 32. Esquematización de la altura 1 y altura 2 pedidas

Para mayores detalles con respecto a las especificaciones que deben guardar las chimeneas, consultar las normas técnicas NMX-AA-009-1993-SCFI y NMX-AA-023-1986.

Esta información está vinculada al diagrama de operación y funcionamiento de la COA (apartado 1.1). Cada chimenea puede indicarse con un bloque y debe estar relacionada con otros bloques que describen a una o varias actividades del proceso o servicios auxiliares que generan emisiones, siempre y cuando éstas sean conducidas a través de la chimenea referida.

Tabla 2.2. Contaminantes Atmosféricos Normados

Esta tabla pide información sobre los contaminantes emitidos o descargados a la atmósfera que son solicitados por normas (parámetros normados), para llenarla se necesita tanto de recopilar información propia de dichos parámetros normados como llevar a cabo cálculos muy sencillos (promedio de mediciones), pedidos por las mismas normas.

A continuación se presenta una metodología sugerida para recopilar la información de los parámetros normados y otra para hacer el cálculo del promedio de las mediciones solicitadas por las diferentes normas, todo esto para poder llenar apropiadamente esta tabla.

Algoritmo 2.2. Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados

1. Se identifican qué etapas y/o equipos de proceso generan emisiones a la atmósfera, para esto, la información recopilada para hacer el diagrama de operación y funcionamiento de la COA es útil.
2. Se buscan las normas que aplican a la actividad en sí, como referencia para el

sector se conoce la siguiente serie de normas en materia ambiental.

- Para los equipos de combustión en donde los gases de combustión provengan solo de los combustibles, como calentadores, calderas etc., aplica la NOM-085-SEMARNAT-2011, no existe otra norma específica para este tipo de equipos.
 - Para la emisión de partículas sólidas, provenientes de fuentes fijas se utiliza la NOM-043-SEMARNAT-1993.
3. Con la información del proceso y de las normas que le aplican, se determina qué contaminantes están específicamente regulados en las normas. El punto de emisión, que es una referencia al número de bloque del diagrama de operación y funcionamiento de la tabla 1.1 y el método de estimación (medición directa o estimación indirecta).

Cuando no aplica una norma para los contaminantes emitidos, su emisión puede ser estimada por factores de emisión, uso de datos históricos, balance de materiales, cálculos de ingeniería, modelos matemáticos entre otros.

4. Para los parámetros normados se extrae de las normas el nivel máximo permisible (límite legal de la emisión), la frecuencia mínima de monitoreo y el método de evaluación (la forma en que un laboratorio debe de hacer la estimación), el método analítico puede estar detallado en otro documento, mismo que el laboratorio o empresa encargada de hacerlo debe de seguir.

⚠ Los laboratorios deben de estar acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Ejemplo 2.2-1. Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados

Supóngase que se tiene una instalación que elabora acero, ubicada en la zona metropolitana del valle de México, con la obligación de reportar la COA. Partiendo de la información de proceso, se detalla el siguiente recuadro de operaciones y equipos, misma que debe de ser congruente con el apartado 1.1 de la COA.

Recuadro 30. Listado de etapas, operaciones o equipos presentes en el proceso que son fuentes de emisión de contaminantes normados

Etapas de proceso (equipo o actividad)	# Bloque	Capacidad	Unidades	Combustible
Caldera	2.3	0.630	GJ/h	GN
Generador de vapor	2.4	120	GJ/h	GN
Calentador 1	2.5	10.5	GJ/h	Diesel
Calentador 2	2.6	45	GJ/h	Diesel
Horno de coquizado	2.7	110	GJ/h	GN (quemadores), carbón
Peletizado	2.8	180	GJ/h	GN, Gas de coque, de alto

Etapa de proceso (equipo o actividad)	# Bloque	Capacidad	Unidades	Combustible
				horno
Horno de Sinterizado	2.9	40	GJ/h	GN, coque, otros
Alto horno	2.10	800	GJ/h	Coque, GN
Horno Básico de Oxígeno	2.11	NA	GJ/h	NA
Molino de laminación	2.12	NA	GJ/h	NA
Horno de recocido	2.13	13	GJ/h	GN
Decapado	2.14	NA	GJ/h	NA

Nota: Los equipos de control de emisiones no generan contaminantes (al menos no al mismo medio que las emisiones que controlan), éstos son parte de algún otro equipo en dónde propiamente se producen (punto de generación); por ello, el equipo de control de emisiones muchas veces representa sólo el punto de emisión, que se reporta como tal en la sección II de la COA.
Nota 2: Los equipos mostrados en este ejemplo son solo aquellos que estarían sujetos a las NOMs existentes y son parte de una instalación mayor con otros procesos y unidades que no se detallan aquí para poder explicar la selección de normas más claramente.

Para identificar las normas aplicables se analiza la información obtenida en el paso anterior, éste es como sigue:

- Las calderas, generadores de vapor y calentadores de agua y aceite térmico son regulados por la NOM-085-SEMARNAT-2011 (publicada en el DOF el 2 de febrero del 2012) ya que son equipos de calentamiento indirecto. En ellos, los gases de combustión se generan a partir del combustible usado y no tocan a la corriente que calientan, sino que lo hacen a través de un material que sirve de barrera entre ambos (como el acero de un tubo).
- Para este ejemplo en particular, la SEMARNAT le solicitó a la empresa del ejemplo, en el documento “Licencia de Funcionamiento en materia de atmosfera” la inclusión de la medición de los NOx provenientes del alto horno según la NOM-085-SEMARNAT-2011, aunque este equipo estrictamente no sea regulado por ésta. La emisión de SOx no, ya que el azufre puede provenir también de la materia prima (pellets de mena de hierro, carbón y/o coque, sinterizado).
- De forma similar al caso anterior, se le pidió a la empresa que el horno de coquizado también queda sujeto a la NOM-085-SEMARNAT-2011 ya que la materia prima (carbón) actúa como combustible, generando emisiones a la atmósfera al mismo tiempo que se transforma en coque.
- La operación de peletizado, el horno de sinterizado, alto horno, horno básico de oxígeno, molinos de laminación, horno de recosido y decapado son equipos y etapas del proceso que generan partículas suspendidas en el aire, por lo que están reguladas por la NOM-043-SEMARNAT-1993.

Para determinar cuáles de las emisiones de contaminantes son parámetros normados se busca en el contenido de las normas, poniendo cuidado en aquellas bases que determinan bajo qué condiciones se aplicará la norma, el recuadro siguiente muestra la información obtenida.

Recuadro 31. Relación de los puntos de generación de contaminantes, los

contaminantes generados, las normas aplicables y las bases para la aplicación del nivel máximo permisible en cada caso

Punto de emisión	Equipo	Contaminante o parámetro normado	Norma	Bases para la aplicación del nivel máximo permisible
2.3	Caldera de 0.63GJ/h que usa gas natural	CO	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 0.53 y 5.3GJ/h, combustible gaseoso, instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Ninguna	Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes generados (hasta donde sea posible)
2.4	Generador de vapor de 120GJ/h que usa gas natural	CO	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 106 y 530GJ/h, combustible gaseoso, instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
		NOx		
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Ninguna	Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes generados (hasta donde sea posible)
2.5	Calentador de 10.5GJ/h de diesel	Partículas	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 5.3 y 42.4GJ/h, combustible líquido, instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
		SO ₂		
		NOx		
		CO		
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Ninguna	Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes generados (hasta donde sea posible)
2.6	Calentador de 45GJ/h de diesel	Partículas	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 42.4 y 106GJ/h, combustible líquido, instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
		SO ₂		
		NOx		
		CO		
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Ninguna	Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes generados (hasta donde sea posible)
2.7	Horno de coquizado de 110GJ/h	Partículas	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 106 y 530GJ/h, combustible sólido (carbón, GN para quemadores), instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. (requerido en la Licencia)
		SO ₂		
		NOx		
		CO		
		Otros: según el combustible utilizado ¹		Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes

Punto de emisión	Equipo	Contaminante o parámetro normado	Norma	Bases para la aplicación del nivel máximo permisible
				generados ³ (hasta donde sea posible)
2.8 a 14	peletizado, horno de sinterizado, alto horno, horno básico de oxígeno, molinos de laminación, horno de recosido y decapado	Partículas	NOM-043-SEMARNAT-1993	Depende del flujo de gases en m ³ /min a 298°C y 101.325kPa, base seca (para zonas críticas en este caso).
		Otros: que no solo dependen del combustible utilizado ¹		Es un requerimiento de la COA que el establecimiento reporte todos los contaminantes generados (hasta donde sea posible)
2.10	Alto horno	NOx	NOM-085-SEMARNAT-2011	Se solicitó en la Licencia de funcionamiento en atmósfera, expedida por la SEMARNAT ³

Nota 1: El **anexo III** de este documento contiene información sobre especies presentes en los gases de combustión emitidos por tipo de combustible usado.

Nota 2: Los contaminantes emitidos por el proceso que no están normados, se deben de estimar por otros medios como balance de materiales, factores de emisión, modelos matemáticos etc. (cuando sea posible hacerlo). Haciendo necesario recurrir al conocimiento del proceso y literatura específica para hacer las estimaciones.

Nota 3: Este tipo de inclusiones son producto del análisis que hace la SEMARNAT para dar la licencia y se debe de tomar en cuenta para el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ etc.), la SEMARNAT pide que se usen los factores de emisión del IPCC, mismos que se resumen en el anexo II de este documento. Para los demás gases de combustión se puede usar otras fuentes como el AP42 secciones I y III. Para la estimación de dioxinas y furanos se sugiere recurrir al “Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos” que están en el **anexo II** de este documento.

Ya que se identificaron los parámetros normados, se extrae la información necesaria de cada uno, como el nivel máximo permisible y la frecuencia mínima de medición. Hay que considerar que algunos límites máximos están en función de la capacidad del equipo, tipo de combustible, la localización geográfica de la instalación, flujo de gases, tipo de tecnología o proceso productivo, así como si se trata de una instalación existente, modificada o nueva; la información se muestra en los recuadros siguientes.

Recuadro 32. Relación de los puntos de emisión, contaminantes normados, nivel máximo permisible y método de estimación y frecuencia aplicable, según las normas aplicables en cada caso

Punto de emisión	Equipo	Contaminante o parámetro normado	Nivel máximo permisible	Método de estimación y frecuencia
2.3	Caldera de 0.63GJ/h que usa gas natural	CO	400 ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Anual
		Otros: según el		Factores de emisión, cálculos de

Punto de emisión	Equipo	Contaminante o parámetro normado	Nivel máximo permisible	Método de estimación y frecuencia
		combustible utilizado ¹		ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.4	Generador de vapor de 120GJ/h que usa gas natural	CO	400 ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Semestral o determinación de O ₂ .
		NOx	110 ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. semestral
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Varia	Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.5	Calentador de 10.5GJ/h de diesel	Partículas	75 mg/m ³	NMX-AA-010-2001. Anual
		SO ₂	550 ppmv	Factores de emisión, análisis en chimenea o análisis químicos del combustible. Anual
		NOx	190 ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. anual
		CO	400 ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Anual.
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Varia	Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.6	Calentador de 45GJ/h de diesel	Partículas	60 mg/m ³	NMX-AA-010-2001. Anual
		SO ₂	550 ppmv	Factores de emisión, análisis en chimenea o análisis químicos del combustible. Anual
		NOx	110 ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. anual
		CO	400 ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Anual.
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Varia	Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.7	Horno ³ de coquizado de 110GJ/h	Partículas	60 mg/m ³	NMX-AA-010-2001. semestral
		SO ₂	550 ppmv	Factores de emisión, análisis en chimenea o análisis químicos del combustible. semestral
		NOx	110 ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. anual
		CO	375 ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-semestral o determinación de O ₂ .
		Otros: según el combustible utilizado ¹	Varia	Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.8 a 14	peletizado,	Partículas	Depende	NMX-AA-010-2001

Punto de emisión	Equipo	Contaminante o parámetro normado	Nivel máximo permisible	Método de estimación y frecuencia
	horno de sinterizado, alto horno, horno básico de oxígeno, molinos de laminación, horno de recosido y decapado		del flujo de gases en m ³ /min a 298K y 101.325kPa	
		Otros: que no solo dependen del combustible utilizado ²		Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.10	Alto horno	NOx	110 ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. semestral

Nota 1: El **anexo III** de este documento contiene información sobre especies presentes en los gases de combustión emitidos por tipo de combustible usado.

Nota 2: Los contaminantes emitidos por el proceso que no están normados, se deben de estimar por otros medios como balance de materiales, factores de emisión, modelos matemáticos etc. (cuando sea posible hacerlo). Haciendo necesario recurrir al conocimiento del proceso y literatura específica para hacer las estimaciones.

Nota 3: Este tipo de inclusiones son producto del análisis que hace la SEMARNAT para dar la licencia y se debe de tomar en cuenta para el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Algoritmo 2.2-1. Cálculo del promedio de mediciones directas

Éste permite obtener el promedio aritmético común de los datos que se toman de un estudio de laboratorio.

Obtener la información del laboratorio o estudio de emisiones de la empresa, para auxiliarse en el cálculo, se puede utilizar una hoja de cálculo simple con los campos adecuados igual a la tabla 2.2 de la COA.

Recuadro 33. Bitácora sugerida para recopilación de información para el reporte del promedio de los monitoreos

Punto de emisión	Equipo o actividad sujeto a norma	Norma aplicable	Parámetro normado	Valor max perm	Unidad	Monitoreos				Valor promedio	Unidad	Sistema o equipo de control de emisiones		Método de Cálculo Eficiencia
						1	2	3	4			Clave	Eficiencia %	

Puesto que el programa (software de reporte de la COA) no calcula el promedio, solamente se tiene que sumar cada medición y dividir el total entre el número de mediciones, se debe de cuidar que la información corresponda al punto reportado, y que las unidades estén conforme a lo especificado en la norma correspondiente.

Ejemplo 2.2-2. Cálculo del promedio de mediciones directas

Para calcular los promedios de mediciones que se necesita ingresar a la tabla 2.2 se parte de la información de los estudios de emisiones, supóngase que se cuenta con

el siguiente análisis de laboratorio y éste es el adecuado para tomar la información (es un equipo de entre 5,250 a 43,000 MJ/h de capacidad).

Estudio de emisiones a la Atmósfera					
INFORME:					
A) TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
Fecha de evaluación:					
Empresa:					
PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		RESULTADO		CONCLUSIONES
	Caldera No 2				
Óxidos de Nitrógeno.	190	ppm (v)	6,40	ppm (v)	Dentro Norma
	[1]	Emisión	0,08	kg/h	
Monóxido de Carbono	N/A	ppm	0,00	ppm	No aplica
	[2]	Emisión	0,000	kg/h	
Exceso aire	40	%	29,74	%	Dentro Norma

Figura 33. Ejemplo de un estudio de emisiones a la atmósfera.

En éste se miden los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y exceso de aire para una caldera.

La medición de monóxido de carbono se usa para calcular el exceso de aire

[1] Concentraciones a 760mmHg 25°C y 5% de O2
 [2] Concentraciones a condiciones de evaluación

Para poder realizar el reporte de esta información, hay que realizar las conversiones de unidades adecuadas, para ajustar las cantidades a la forma solicitada en el reporte de la COA se puede utilizar una hoja de cálculo con los campos mostrados en la siguiente figura.

Punto de emisión	Equipo o act sujeto a norma	Norma app	Parámetro normado	Valor max perm	unidad	Monitoreos					control de emisiones			
						1	2	3	4	Promedio	unidad	Clave	Eficiencia %	Met Cal Ef
2.13	029	NOM-085 SEMARNAT 1994	Nox	190	ppmv	8.4	10.6			9.5	ppmv	OC1	80	DI
2.13	029	NOM-085 SEMARNAT 1994	Ex de aire	40	%	29.54	26.44			27.99	%	NA	NA	

Figura 34. Hoja de cálculo, usada como bitácora (sugerida), para la recopilación de información para el reporte del promedio de los monitoreos y cálculo de promedios de emisiones a la atmósfera

Nótese que en la hoja de cálculo se incluyó otra medición (para poder hacer un promedio, la NOM-85 pide como mínimo una) y que el punto de emisión vincula esta tabla de la COA al apartado 1.1 de la misma, la operación es, para el caso de los NOx es $(8.4 + 10.6)/2=9.5$ ppm, se hace lo mismo para el exceso de aire.

Nota: El ejemplo de certificado de análisis mostrado contiene cantidades en el orden de los estudios reales y fue tomado antes de la publicación de la NOM-085 SEMARNAT 2011.

Tabla 2.3. Emisiones anuales

En la presente se reportan tal cual las emisiones anuales de contaminantes a la

atmósfera, tanto los normados como los no normados, para poder llenar adecuadamente esta parte de la COA se muestran diversas metodologías para realizar los cálculos.

Metodología 2.3. General para el reporte de la información en las diferentes tablas del formato de la COA

Para el caso de las sustancias que no están catalogadas como RETC se reportan en la tabla correspondiente (2.3 para las emisiones al aire, 3.2.3 para emisiones o transferencias a través de las descargas de agua, generadas de la operación normal etc.), pero para el caso de las sustancias RETC es importante determinar en donde se deben reportar, por lo anterior es necesario tener completa la información y los cálculos (al menos) del % de sustancias RETC, en los insumos, las emisiones a la atmósfera, las transferencias y emisiones líquidas, las transferencias de residuos peligrosos y de sustancias RETC contenidos en ellas (secciones 1.2, 1.3, 2.3, 3.2.3 y 4.1, en congruencia con las secciones 1.1, 2.2 y 3.2.1 para la operación normal). También se deben de considerar los equivalentes (emisiones y/o transferencias al aire, agua, suelo y RPs) de la operación anormal (arranques, paros y/o accidentes), para poder tomarlos en cuenta en los cálculos.

Por otra parte en las tablas 1.2 y 1.3 se reportan los insumos y productos “totales” respectivamente, mientras que en la tabla 5.1, solo se debe reportar la masa de la sustancia RETC contenida en ellos (si es el caso), dicha cantidad, debe estar basada en el porcentaje en peso de la sustancia RETC.

Una situación similar ocurre entre la tabla 4.1 y la 5.2, pues en la tabla 4.1 se reporta la cantidad total de residuo peligroso generado, mientras que en la tabla 5.2 sólo se debe reportar (en transferencias) la cantidad de la sustancia RETC contenida en el residuo, basada en el porcentaje en peso de la sustancia RETC.

Se sugiere ver la metodología de la tabla 5.2 para tener más claro en donde reportar cada cosa, el resto de las metodologías expuestas para la tabla 2.3, 3.2.3 y 4.1 ayudan a obtener la información con la cual se evaluará en qué tabla se reportan los contaminantes (todas las metodologías expuestas en el presente documento en las diferentes secciones, son complementarias ya que sirven para determinar los totales necesarios para tomar las decisiones).

Para comenzar con el análisis de la información solicitada en la tabla 2.3, donde se reportan las emisiones anuales de contaminantes a la atmósfera, tanto para los contaminantes normados como los no normados. A continuación se muestra un ejemplo de estimación de emisiones a partir de datos obtenidos por medición directa.

Algoritmo 2.3-1. Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa

Generalmente, los laboratorios que hacen muestreos de contaminantes atmosféricos, los reportan en unidades como partes por millón en volumen o mg/m^3 por lo que hay

que convertir dichas unidades a masa por año (kg/año, ton/año etc.).

1. Se consiguen los pesos moleculares de las sustancias que se van a utilizar, para calcularlos, se utiliza una tabla periódica de elementos para obtener las masas atómicas de los elementos que integran una molécula, mismas que al sumarse constituyen el dato deseado.
2. Se obtiene el volumen molar a condiciones que reporte el laboratorio, generalmente se reportan las cantidades bajo condiciones estándar, que corresponden a 25°C (298.15K) y 760mmHg (una atmósfera de presión), para esto se puede utilizar la ecuación de gases ideales con una $R = 0.082 \text{ Latm}/(\text{molK})$:

$$\text{Volumen molar} = \frac{NRT}{P} = \frac{(1\text{mol})(298.15\text{K})(0.082\text{Latm}/\text{molK})}{1\text{atm}} = 24.47\text{L}$$

3. Se divide el peso molecular del contaminante entre el volumen molar, para obtener la masa (gramos, libras, toneladas etc.) contenidas por cada unidad de volumen (g/L kg/L); como ya se explicó, generalmente se va a trabajar con g/mol, l/mol y g/L para cada caso.

Un mol de cualquier gas, ocupa el mismo volumen, solo determinado por su temperatura y presión.

4. Una parte por millón en volumen es equivalente a una fracción de 1/1000,000 del volumen considerado, “n” partes por millón equivalen a una fracción de n/1000,000 del volumen considerado.
5. Se toma la concentración en ppm volumen promedio (de la tabla 2.2) y se aplican los pasos anteriores, así como las equivalencias de unidades necesarias (1,000L igual a un m^3 , 1000mg igual a un gramo):

$$\frac{X \text{ mg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Peso Molecular g/mol}}{\text{Volumen molar L/mol}} * \frac{C \text{ ppm}}{1 \times 10^6} * \frac{1,000\text{L}}{\text{m}^3} * \frac{1,000\text{mg}}{\text{g}} = \frac{C * \text{PM}}{24.47}$$

En la ecuación anterior la “C” representa la concentración en ppm volumen y la “X” el valor (a calcular) de la concentración en mg/m^3 , como podrá notarse, todas estas operaciones son iguales a multiplicar la concentración de partes por millón en volumen, por el peso molecular de la sustancia en sí y dividir el producto anterior entre el volumen molar a condiciones estándar (para este caso).

6. Para transformar la concentración expresada en mg/m^3 a unidades de emisión por año (kg/año por ejemplo) se multiplica la concentración promedio del contaminante por el flujo de los gases de chimenea (generalmente en m^3/min) por el tiempo de operación al año (horas) por el factor de conversión de mg a

kg (un kg tiene 1,000,000 miligramos) y de minutos a horas (una hora tiene 60 minutos):

$$\frac{E \text{ kg}}{\text{año}} = \frac{X \text{ mg}}{\text{m}^3} * \frac{F * \text{m}^3}{\text{min}} * \frac{T \text{ horas}}{\text{año}} * \frac{60 \text{ min}}{h} * \frac{\text{kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

En la ecuación anterior la E representa la emisión del contaminante en cuestión en kg/año, la “X” representa la concentración del contaminante en mg/m³, la “F” representa el flujo de salida de la emisión con el contaminante en m³/min (unidad común), la “T” es el tiempo de emisión que debe ser prácticamente igual al tiempo de operación del equipo o etapa de proceso que produce o libera el contaminante.

- Se repite el procedimiento para cada punto de emisión del mismo contaminante y para cada tipo de contaminante (todos sus puntos de emisión), y se capturan en la tabla 2.3 (una hoja de cálculo puede ayudar mucho para realizar este algoritmo o algún otro para ajustar las unidades de las mediciones)

Ejemplo 2.3-1. Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa

Para ejemplificar el algoritmo anterior, supóngase una empresa del sector va a realizar la siguiente conversión de unidades sobre un parámetro normado. Para hacerlo, se usó la una hoja de cálculo como apoyo mostrada en la siguiente figura.

R=	0.082148 Latm/molK	P=	1 atm	V		
T=	298.15 K	N=	1 mol	24.49	L	
Parametro normado	PM (g/gmol)	Tiempo de op (horas/año)	C PPMv	F m3/min	X mg/m3	Ekg/año
SO2	64.05	4,147.00	345.00	3,187.57	902.21	715,568.87

Figura 35. Hoja de cálculo para la estimación de contaminantes por medición directa

Para este caso, el parámetro normado es el dióxido de azufre, cuyo peso molecular es de 64.05g/mol (se deja al lector comprobarlo), el tiempo de operación, la concentración promedio (base seca) y el flujo de los gases de salida se fijaron arbitrariamente para fines de este ejemplo.

Con los datos en la parte superior de la hoja de figura se calculó el volumen molar a las condiciones dadas (estándar), para calcular la concentración en mg/m³ se hizo el siguiente cálculo:

$$\frac{X \text{ mg}}{\text{m}^3} = \frac{C * \text{PM}}{24.4483} = \frac{345 \text{ ppmv} * 64.05 \text{ g/mol}}{24.47 \text{ L/mol}} = \frac{902.21 \text{ mg}}{\text{m}^3}$$

Para calcular la emisión final se multiplica el flujo, por el tiempo de operación, por la concentración anterior:

$$\frac{E \text{ kg}}{\text{año}} = \frac{902.21 \text{ mg}}{\text{m}^3} * \frac{3,187.57 * \text{m}^3}{\text{min}} * \frac{4,147 \text{ horas}}{\text{año}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} * \frac{\text{kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} = \frac{715,568.87 \text{ kg}}{\text{año}}$$

Factores de emisión

Son números que relacionan alguna variable del proceso con la emisión de algún contaminante o familia de contaminantes específicos, básicamente lo que hay que hacer es seleccionar el factor de emisión adecuado para la emisión a estimar y hacer el cálculo con la variable correcta del proceso, misma que está en función de la forma en la que se obtuvo el factor de emisión. Para estimar las sustancias emitidas que no están normadas, considere el siguiente algoritmo.

Algoritmo 2.3-2. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión

1. Buscar en la literatura los factores de emisión de utilidad para estimar las emisiones que no fueron obtenidas por medición directa, usualmente se usan aquellos del AP-42 de la USEPA (EEUU), NPI de Australia, los del IPCC, la información contenida en los documentos de referencia de las mejores técnicas disponibles para la prevención y control de la contaminación de Unión Europea y los homónimos correspondientes a varios países Europeos (como Alemania y España) entre otros.

Dentro de la literatura, encontrar el factor de emisión más adecuado para la estimación a realizar.

2. Determinar qué variable hay que conocer para usarse con el factor y la forma en la que se debe hacer el cálculo, esto es muy importante ya que se necesitará conocer el valor de la variable de proceso aplicable y como es que el autor (del factor de emisión) hizo la relación entre ellos.

Usualmente las variables de proceso relacionadas a los factores de emisión son la cantidad de combustible o materia prima consumida, así como la producción y la operación a realizar es una simple multiplicación.

3. Si hay un método de control de emisiones (disminución o eliminación), para la que se está estimando (hay que cerciorarse de que dicho método tiene algún efecto sobre la emisión que se está calculando), se añade al cálculo, usualmente mediante otra multiplicación y/o división:
- 4.

$$E_x = NA * FE * (1 - E)$$

Donde E_x es la emisión del contaminante "x", NA es la variable de proceso ligada al factor, FE es el factor de emisión y E es la eficiencia del equipo de

control en fracción, si se utiliza % E tiene que dividirse entre 100.

Ejemplo 2.3-2. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión (metano en calentadores y calderas)

Supóngase que se tienen 2 equipos de combustión en una empresa del sector. Para calcular las emisiones de CH₄, que es un contaminante no normado de efecto invernadero, se usaron factores de emisión que toman cuenta el combustible usado (gas natural y diesel), las operaciones se realizaron para este ejemplo en una hoja de cálculo como la mostrada a continuación.

Clave de equipo	Tipo de combustible	Combustible usado		Energía utilizada (GJ/año)	Eficiencia EC		emisión kgCH ₄ etq/año
		(en unidades mostradas)	PC GJ/unidad		FE CH ₄ KgCH ₄ /GJ	fracción	
028 Caldera	Gas Natural (m3)	211,345	0.03664766	7,745.30	1.00E-03	0.00	7.75
029 Calentador	Diesel (m3)	2,543,211	34.10725254	86,741,939.83	2.00E-04	0.00	17,360.00

Figura 36. Imagen de la hoja de cálculo usada para la estimación del ejemplo mediante factores de emisión, de la emisión de metano a la atmósfera en calentadores y calderas

Los factores de emisión utilizados son los reportados por el IPCC (IPCC, 2003) por ser el metano un gas de efecto invernadero, ya que para calcular estas emisiones se pide utilizarlos (SEMARNAT, 2010c).

Puesto que los factores de emisión están en función de la cantidad de la energía obtenida a partir de ellos (GJ), en el cálculo se incluyeron los poderes caloríficos de los combustibles utilizados, al multiplicar este factor por la cantidad de combustible utilizado (en el año de reporte), se obtiene la energía utilizada.

Ya que los factores de emisión no incluyen el equipo de control de emisiones, es necesario conocer la eficiencia de éste en la disminución del contaminante a estimar, para efectos de este ejemplo, se supusieron los valores de cero para la caldera y el calentador. El dato del consumo de combustible debe de ser congruente con la información capturada en la tabla 1.4.1 y 2.1.1.

La hoja de cálculo que se utilizó, realiza en forma automática el siguiente cálculo:

$$E_{CH_4} = NA * PC_{com} * FE_{CH_4} * (1 - Ef_{CH_4})$$

$$E_{CH_4} = \left(211,345 \frac{m^3}{año} \right) \left(0.037 \frac{GJ}{m^3} \right) \left(1 \times 10^{-3} \frac{kgCH_4}{GJ} \right) (1 - 0.0) = 7.75 \frac{KgCH_4}{año}$$

Como se puede ver, el cálculo se realizó para la caldera de gas natural, la E_{CH₄} representa la emisión de metano, NA el consumo de combustible en el periodo de reporte, PC_{com} el poder calorífico para el tipo de combustible usado y Ef la eficiencia

del equipo de control de emisiones (para metano), el mismo cálculo se utilizó la otra caldera.

Ejemplo 2.3-3a. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión, (ejemplo con alto horno)

Para el caso de equipos más típicos de este sector, la estimación de emisiones por medio del uso de factores de emisión inicia con conocer el proceso para poder seleccionar una fuente adecuada de factores a usar. Para el caso de este ejemplo, supóngase que se tiene un alto horno, sin sistemas de control de emisiones, tal que, la información del documento para las mejores técnicas disponibles para la industria siderúrgica, editado en y para la Unión Europea es adecuada (BREF, 2001a). La siguiente figura muestra un fragmento de una hoja de cálculo con los datos y que sirve de apoyo para realizar el cálculo.

Componente	Valor Bajo	Valor Alto	Valor tomado	Unidad
Flujo de gas de AH	1.00	7.00	50,000.00	X10E5 Nm ³ /h
Partículas	3,500.00	30,000.00	20,000.00	mg/Nm ³
Mn	350.00	8,700.00	1,010.00	mg/Nm ³
Pb	35.00	1,500.00	85.00	mg/Nm ³
Zn	105.00	5,100.00	300.00	mg/Nm ³
Hidrocarburos (HxHy)	67.00	250.00	125.00	mg/Nm ³
H ₂ S	160.00	400.00	162.00	mg/Nm ³
Cianuros (CN ⁻)	0.26	1.00	0.55	mg/Nm ³
Amoniaco (NH ₃)	10.00	40.00	23.00	mg/Nm ³
Benzo pireno	0.08	0.28	0.12	mg/Nm ³
Fluoranteno	0.15	0.56	0.27	mg/Nm ³
CO	20.00	28.00	22.11	vol%
CO ₂	17.00	25.00	20.35	vol%
H ₂	1.00	5.00	4.34	vol%

Figura 37. Imagen de la hoja de cálculo usada para recopilar la información para el cálculo de las emisiones generadas en el alto horno

Ya que se tiene identificada una buena fuente de factores de emisión para el proceso, lo siguiente es determinar cuáles valores son los más adecuados para el caso. Esto se hace a partir del conocimiento del proceso y de la información que el autor de los factores de emisión da en su documento (como se obtuvieron, que proceso matemático se llevó a cabo para obtenerlos, que consideraciones se hicieron durante la obtención del factor de emisión, que tan confiable es el FE a consideración del autor etc.), para fines de este ejemplo, el “valor tomado” para cada contaminante se fijó arbitrariamente, dentro de los límites que se encontraron en la literatura.

Ahora, considerando que se operaron 8,000 horas al año con un flujo de gases de alto horno de 50,000 Nm³/h (metros cúbicos a condiciones estándar de temperatura y

presión, 101,325Pa y 278K) se hacen las operaciones correspondientes. Los resultados se resumen en la siguiente figura que es parte de la misma hoja de cálculo usada como apoyo.

Horas de op al año		8000		
Gas de alto horno. (sin control de emisiones)				
Componente	FE tomado	Unidad	Emisión S/C	Unidad
Flujo de gas de AH	50,000.00	Nm ³ /h	400,000,000.00	Nm ³ /año
Partículas	20,000.00	mg/Nm ³	8,000,000.00	kg/año
Mn	1,010.00	mg/Nm ³	404,000.00	kg/año
Pb	85.00	mg/Nm ³	34,000.00	kg/año
Zn	300.00	mg/Nm ³	120,000.00	kg/año
Hidrocarburos (HxHy)	125.00	mg/Nm ³	50,000.00	kg/año
H ₂ S	162.00	mg/Nm ³	64,800.00	kg/año
Cianuros (CN-)	0.55	mg/Nm ³	220.00	kg/año
Amoniaco (NH ₃)	23.00	mg/Nm ³	9,200.00	kg/año
Benzo pireno	0.12	mg/Nm ³	48.00	kg/año
Fluoranteno	0.27	mg/Nm ³	108.00	kg/año
CO	0.28	kg/Nm ³	110,619,136.96	kg/año
CO ₂	0.40	kg/Nm ³	159,992,852.68	kg/año
H ₂	3.88E-03	kg/Nm ³	1,550,969.36	kg/año

Figura 38 . Imagen de la hoja de cálculo con los resultados de la estimación de las emisiones generadas en el alto horno. (Nota: S/C significa “sin control” de emisiones)

Para dejar claro el cálculo realizado, el flujo total de gases al año se obtiene al multiplicar el flujo por hora por las horas de operación al año, que en este caso son 8,000:

$$\left(\frac{50,000\text{Nm}^3}{\text{h}}\right) * \left(\frac{8,000\text{h}}{\text{año}}\right) = \frac{400,000,000\text{Nm}^3}{\text{año}}$$

Para el caso de la emisión de partículas, se emiten 20,000mg/Nm³, por lo que la emisión anual se obtiene al multiplicar esta cantidad por el flujo de gases antes calculado. Además se transforma la cantidad a kg para hacer el número más manejable y comparable a los demás:

$$\left(\frac{20,000\text{mg}}{\text{Nm}^3}\right) * \left(\frac{400,000,000\text{Nm}^3}{\text{año}}\right) \left(\frac{\text{kg}}{1 \times 10^6\text{g}}\right) = \frac{8 \times 10^6\text{Nm}^3}{\text{año}}$$

Se hace lo mismo con el resto de los contaminantes. Nótese que para el caso de los gases como el CO, CO₂ y H₂, la unidad reportada en la literatura es %vol, es decir,

por ciento en volumen, por lo que no se puede proceder igual, la conversión de unidades necesaria se ve en el siguiente ejemplo.

Ejemplo 2.3-3b. Conversión de unidades para estimación de emisión de gases con factores de emisión

Para el caso de los gases (CO, CO₂ y H₂) del ejemplo anterior, no se puede proceder de la misma manera, la información está en “por ciento en volumen” y para manejarla se puede hacer lo siguiente (esta es solo una ruta posible): primero se calcula el volumen (o flujo parcial) parcial de cada gas, lo que se logra al multiplicar la fracción dada (el %vol) por el flujo de gas de alto horno total, después, se calcula el número de moles “N” que están contenidas en ese volumen parcial tomando en cuenta la temperatura y presión (273K y 101,323Pa), para hacerlo se puede utilizar cualquier ecuación de estado, por lo general la de “gas ideal” (PV=NRT) se usa en estos casos. En seguida, con los resultados anteriores y el peso molecular correspondiente, se estima la cantidad de materia de cada compuesto que fluye en el gas de alto horno. El cálculo es fácil de realizar y se muestra a continuación para el caso del CO:

$$V_{CO} = \frac{f_{CO}}{100} V_T = \frac{22.11}{100} 50,000 \frac{Nm^3}{h} = 11,055 \frac{Nm^3}{h}$$

$$m_{CO} = \frac{V_{CO} PM_{CO} P}{RT} = \frac{\left(\frac{11,055 Nm^3}{h}\right) \left(\frac{28g}{gmol}\right) (101,325 Pa)}{\left(\frac{8.30865 m^3 Pa}{gmolK}\right) (273K)} = 13,827,392.27 \frac{g}{h}$$

Ahora el flujo de kg por Nm³ se obtiene al dividir el flujo másico de CO entre el flujo volumétrico total de la corriente de gas de alto horno y convertirlo a kg/h como se muestra:

$$FE_{CO} = \frac{m_{CO}}{V_T} = \frac{\left(13,827,392.27 \frac{g}{h}\right) \left(\frac{kg}{1000g}\right)}{50,000 \frac{Nm^3}{h}} = 0.28 kg/Nm^3$$

Se hace lo mismo con los otros gases, usando los datos correspondientes a cada uno de ellos. La figura siguiente muestra el resumen de las operaciones realizadas y el peso molecular de cada gas.

	PM (g/gmol)	(V) Nm ³ /h	(m) g/h	(m) kg/h	(m/V) kg/Nm ³
CO	28	11,055.00	13,827,392.12	13,827.39	0.28
CO ₂	44	10,175.00	19,999,106.58	19,999.11	0.40
H ₂	2	2,170.00	193,871.17	193.87	3.88E-03

Figura 39. Imagen de la hoja de cálculo usada para realizar los cálculos del cambio de unidades (o base de unidades) de los factores de emisión usados

Como se puede ver, los resultados son los que aparecen en el problema anterior, de esta forma ya se pueden tomar adecuadamente para el cálculo de emisiones correspondiente.

Ejemplo 2.3-3c. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. Control de emisiones y estimación de eficiencia de remoción

Suponga que ahora, en el mismo alto horno de los ejemplos anteriores, se le instala un sistema de dos etapas de control de emisiones (ciclón o precipitador electrostático seguido de un lavador de gas húmedo), para tal caso se hace exactamente lo mismo que en los ejemplos anteriores solo que con los factores de emisión correspondientes. La figura siguiente muestra un fragmento de la hoja de cálculo usada para recopilar la información tomada de la literatura (BREF, 2001a) para este caso.

Componente	Valor Bajo	Valor Alto	Valor tomado	Unidad
Flujo de gas de AH	1.00	7.00	50,000.00	X10E5 Nm3/h
Particulas	1.00	10.00	9.00	mg/Nm3
Mn	0.10	2.90	0.17	mg/Nm3
Pb	0.01	0.50	0.04	mg/Nm3
Zn	0.03	1.70	0.10	mg/Nm3
Hidrocarburos (HxHy)	0.00	0.00	125.00	mg/Nm3
H2S	0.00	14.00	12.00	mg/Nm3
Cianuros (CN-)	0.00	0.00	0.00	mg/Nm3
Amoniaco (NH3)	0.00	0.00	0.00	mg/Nm3
Benzo pireno	0.00	0.00	0.12	mg/Nm3
Fluoranteno	0.00	0.00	0.27	mg/Nm3
CO	20.00	28.00	22.11	vol%
CO2	17.00	25.00	20.35	vol%
H2	1.00	5.00	4.34	vol%

Figura 40. Imagen de la hoja de cálculo usada para la recopilación de información de los factores de emisión necesaria para la estimación de las emisiones generadas en el alto horno, con sistema de control de emisiones

Igual que en los ejemplos anteriores, los valores tomados como factores de emisión se fijaron arbitrariamente. El procedimiento de cálculo es igual que el que se mostró en los ejemplos 2.3-3a y 2.3-3b, los resultados se muestran en la figura siguiente.

Horas de op al año		8000		
Gas de alto horno. con control de emisiones				
Componente	FE tomado	Unidad	Emisión S/C	Unidad
Flujo de gas de AH	50,000.00	Nm3/h	400,000,000.00	Nm3/año
Particulas	9.00	mg/Nm3	3,600.00	kg/año
Mn	0.17	mg/Nm3	68.00	kg/año
Pb	0.04	mg/Nm3	16.00	kg/año
Zn	0.10	mg/Nm3	40.00	kg/año
Hidrocarburos (HxHy)	125.00	mg/Nm3	50,000.00	kg/año
H2S	12.00	mg/Nm3	4,800.00	kg/año
Cianuros (CN-)	0.00	mg/Nm3	0.00	kg/año
Amoniaco (NH3)	0.00	mg/Nm3	0.00	kg/año
Benzo pireno	0.12	mg/Nm3	48.00	kg/año
Fluoranteno	0.27	mg/Nm3	108.00	kg/año
CO	0.28	kg/Nm3	110,619,136.96	kg/año
CO2	0.40	kg/Nm3	159,992,852.68	kg/año
H2	3.88E-03	kg/Nm3	1,550,969.36	kg/año

Figura 41. Imagen de la hoja de cálculo con los resultados de la estimación de las emisiones generadas en el alto horno, con sistema de control de emisiones

Nota: Para el caso de los aromáticos policíclicos (benzopireno, fluoranteno y otros) y otros hidrocarburos (CxHy) no se tienen datos para hacer una estimación, ya que pueden variar según la especiación particular de cada sitio. Para este ejemplo se asume que todos pasan el sistema de lavado de gases (no necesariamente es cierto en un caso real). Algunos sistemas pueden recuperar hidrocarburos de las corrientes de gases de proceso, especialmente del gas de coque, que se puede mezclar con el de alto horno y otros para estos fines y para recuperar energía. En tal caso, la cantidad de hidrocarburos presentes será mucho menor.

Nota 2: para los cianuros y amoniaco, el cero se interpreta que queda en la corriente una cantidad mucho muy pequeña que no se puede determinar.

Ahora, supóngase que se tiene que calcular la eficiencia global del sistema de control de emisiones a partir de los cálculos antes realizados, para tal fin solo es necesario comparar ambas emisiones, con y sin control y determinar el porcentaje o fracción de la emisión con sistema de control respecto a la emisión original (sin control).

Para el caso de las partículas se tiene el siguiente cálculo:

$$\%EF_{Rp} = 100 \left(1 - \frac{E_p^{CC}}{E_p^{SC}} \right) = 100 \left(1 - \frac{3600 \text{kg/año}}{8 \times 10^6 \text{kg/año}} \right) = 99.96\%$$

Se hace lo mismo para el resto de los contaminantes. Los resultados se muestran en la figura siguiente. Para el caso de los gases (CO, CO₂, H₂) el resultado es el mismo ya que el sistema de control no los altera, ya que el gas de alto horno solo se limpia antes de quemarse en alguna otra parte de la planta para recuperar energía (como por ejemplo en las estufas del alto horno para producir la ráfaga de aire caliente).

Componente	Emisión S/C	Unidad	Emisión CE	Unidad	%E remoción
Flujo de gas de AH	400,000,000.00	Nm ³ /año	400,000,000.00	Nm ³ /año	--
Partículas	8,000,000.00	kg/año	3,600.00	kg/año	99.96%
Mn	404,000.00	kg/año	68.00	kg/año	99.98%
Pb	34,000.00	kg/año	16.00	kg/año	99.95%
Zn	120,000.00	kg/año	40.00	kg/año	99.97%
Hidrocarburos (HxHy)	50,000.00	kg/año	50,000.00	kg/año	0.00%
H ₂ S	64,800.00	kg/año	4,800.00	kg/año	92.59%
Cianuros (CN-)	220.00	kg/año	0.00	kg/año	100.00%
Amoniaco (NH ₃)	9,200.00	kg/año	0.00	kg/año	100.00%
Benzo pireno	48.00	kg/año	48.00	kg/año	0.00%
Fluoranteno	108.00	kg/año	108.00	kg/año	0.00%
CO	110,619,136.96	kg/año	110,619,136.96	kg/año	--
CO ₂	159,992,852.68	kg/año	159,992,852.68	kg/año	--
H ₂	1,550,969.36	kg/año	1,550,969.36	kg/año	--

Figura 42. Resultados del cálculo de emisiones a la atmosfera de contaminantes generados en el alto horno, con y sin sistemas de control de emisiones y eficiencia de remoción de los mismos

Ejemplo 2.3-3d. Emisión de NO_x, dioxinas y furanos en el alto horno y cambio de base de factores de emisión

Estos contaminantes tienen especial importancia para la SEMARNAT dadas sus características toxicológicas, por este motivo es importante que se estimen también, dentro de la literatura (BREF, 2001a) que se consultó para este documento se encontró que para el alto horno se emiten hasta 0.004 µg-ITEQ/ton de acero líquido. Puesto que este factor de emisión está en función del acero líquido, se tiene que relacionar con el arrabio, para el caso de Europa, se tiene que 940kg de arrabio sirven para producir (en promedio ponderado) una tonelada de acero líquido. Siguiendo con el alto horno hipotético usado para la serie de ejemplos anteriores, suponga que éste produce al año 266,667 toneladas de arrabio y que se tiene un factor de emisión de 0.003 µg-ITEQ/ton de acero líquido (cantidades fijadas arbitrariamente para este ejemplo, se recomienda que se hagan mediciones de dioxinas y furanos en cada equipo que los produzca para tener información más confiable al respecto). El cálculo es el siguiente:

$$\left(266,667 \frac{\text{ton A}}{\text{año}}\right) \left(\frac{\text{ton AL}}{0.940 \text{ ton A}}\right) \left(\frac{0.003 \mu\text{gITEQ}}{\text{ton AL}}\right) = 851.06 \mu\text{gITEQ/año}$$

Para el caso de los óxidos de nitrógeno, la fuente principal son generados por las

altas temperaturas, para el alto horno, se generan de 30 a 120g/ton de acero líquido, considerando que para este caso se generan 50g/ton de acero líquido (valor arbitrario, solo para este ejemplo, en la realidad se debe de determinar adecuadamente, ya sea por medición o por alguna otra técnica), el cálculo es similar al anterior:

$$\left(266,667 \frac{\text{ton A}}{\text{año}}\right) \left(\frac{\text{ton AL}}{0.940 \text{ton A}}\right) \left(\frac{50\text{g}}{\text{ton AL}}\right) \left(\frac{\text{ton}}{10^6\text{g}}\right) = 14.184 \text{ton/año}$$

Como se vio en los cálculos anteriores, en ocasiones útil cambiar la base de los factores de emisión que se tienen con el objeto de hacerlos más accesibles y/o de relacionarlos con la producción del producto principal o de interés, en este caso, para pasar de mg/Nm³ a g/ton de arrabio se necesita relacionar la producción total de arrabio con el flujo total de gases de alto (por año o por cualquier otro periodo de tiempo en el cual se tengan los datos). El cálculo es el siguiente:

$$\frac{\text{Flujo de GAH}}{\text{Prod de arrabio}} = \frac{\left(\frac{4 \times 10^8 \text{Nm}^3}{\text{año}}\right)}{\left(\frac{266,667 \text{ton}}{\text{año}}\right)} = 1,500 \frac{\text{Nm}^3}{\text{ton}}$$

Ahora con el resultado anterior se hace la multiplicación por cada factor de emisión que tenga como base el flujo de gases de alto horno, para el caso de las partículas con control de emisiones (ejemplos anteriores) el cálculo es el siguiente:

$$\left(\frac{9\text{mg}}{\text{Nm}^3}\right) \left(\frac{1500 \text{Nm}^3}{\text{ton de arrabio}}\right) \left(\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}\right) = 13.5 \frac{\text{g}}{\text{ton de arrabio}}$$

Se hace lo mismo con el resto de los contaminantes.

Ejemplo 2.3-4a. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes

En una instalación que maneja hidrocarburos es común tener estas emisiones, sobre todo si no se lleva a cabo un programa de inspección y mantenimiento enfocado en medirlas, controlarlas y reducirlas, la EPA en el documento 453/R-95-117 titulado “Protocol for Equipment Leak Emission Estimates” (USEPA, 1995) ha desarrollado diferentes enfoques, en esta serie de ejemplos se verán ejemplos simples de ellos que se utilizarán según la información disponible.

El primer enfoque se denomina “por factor de emisión promedio”, es el más simple de todos y requiere que se tenga un inventario de las fuentes de estas emisiones que incluye todas las válvulas (todos los tipos), sellos de bombas, compresores, registros de drenaje, bridas, líneas cerradas y demás elementos susceptibles de emitir hidrocarburos, clasificadas por el tipo de corriente contienen (hidrocarburos gaseosos, HC líquidos ligeros, HC líquidos pesados etc.)

Para fines de este ejemplo supóngase que se tiene una planta coquizadora con una capacidad de proceso de 1,500,000 toneladas de carbón al año y que además procesa el gas de coque tanto para eliminar de éste contaminantes como para recuperar productos útiles como alquitrán, aromáticos y otros hidrocarburos, sulfato de amonio y azufre. Tiene las siguientes fuentes de compuestos orgánicos totales (TOC por sus siglas en inglés).

	Tipo de corriente contenida	Cantidad	AVG kg/h	Emisión kg/h
Válvulas	Gas	1600	0.0268	42.88
	Líquido ligero	300	0.0109	3.27
	Líquido pesado	10	0.0023	0.023
Sellos de bombas	Líquido ligero	25	0.114	2.85
	Líquido pesado	2	0.021	0.042
Sellos de compresores	gas	6	0.636	3.816
Válvulas de relevo (PRV)	gas	20	0.16	3.2
Conectores	todas	15	0.00025	0.00375
lineas cerradas	todas	30	0.0023	0.069
Puertos de muestreo	todas	6	0.015	0.09
		2014		56.24375

Figura 43. Imagen de la hoja de cálculo usada con información de factores de emisión (promedio) y las correspondientes fuentes de emisiones difusas de la planta productora de coque

En la figura anterior se observa la información del inventario (ficticio) y de los factores de emisión “promedio” para este tipo de instalaciones, para obtener la emisión para cada tipo de fuente se hace la multiplicación del factor por el número de ellas, por ejemplo, el # de válvulas que manejan “gas” son 1,600 por el factor de emisión promedio de 0.0268kg/h da una emisión de 42.88kg/h correspondientes a este tipo de fuente, se hace lo mismo con todas las demás.

Después se suman las emisiones por hora para obtener la emisión de TOCs, que corresponde a 56.24375kg/h, si en el año todos los equipos operaron 8,000h, entonces la emisión de corresponde a 449.950 toneladas.

Nota 1: Los factores de emisión corresponden a la tabla 2.2 de la referencia (USEPA, 1995) y corresponden a los compuestos orgánicos totales (TOC por su siglas en ingles), estos incluyen compuestos no COVs como el metano y etano, en el caso de que se quiera separar las emisiones de metano y etano por separado es necesario tomar consideraciones especiales para hacer la especiación que tienen que ver con un conocimiento más profundo del proceso.

Nota 2: Los factores de emisión correspondientes a corrientes con agua e hidrocarburos aplican para concentraciones de agua cercanas al 50% hasta 99%, cuando la concentración de agua es mayor al 99% la emisión de TOC se considera despreciable.

Nota 3: Los factores de emisión de promedios no se hicieron pensando en reportar un solo equipo, sino para una población de ellos, tampoco hacen diferencias entre las diferentes instalaciones y características particulares, solo proveen una referencia cuando no existe una mejor forma de hacer estas estimaciones.

Nota 4: En el presente ejemplo se supone que toda la masa de los TOC se emite a la atmósfera, lo cual es cierto en la mayoría de las ocasiones o cuando menos es factible asumirlo sin generar un error considerable.

Nota 5: EL tiempo de operación debe de ser aquel en el cual el elemento contenga una corriente que lo haga susceptible de convertirlo en fuente de emisiones.

Nota 6: El presente ejemplo se hizo con factores de emisión de instalaciones de refinación de petróleo puesto que las plantas coquizadoras son también parte de refinerías (al menos las coquizadoras de petróleo) e instalaciones de gasificación de carbón, ya tienen cierta similitud con las que existen en siderúrgicas. En el sector de petróleo este tipo de emisiones es mucho mayor que en el metalúrgico por el volumen de hidrocarburos manejado.

Ejemplo 2.3-4b. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes

Continuando con el ejemplo anterior, se hará el cálculo de emisiones de TOC pero con los factores de emisión del segundo enfoque, que se denomina de intervalos, también se conoce como “leak/no leak”, para llevarlo a cabo requiere que se conozca el inventario de fuentes, como el caso anterior, pero haciendo la diferencia de cuales fuentes tienen una emisión menor a 10,000 PPMv y cuales igual o mayor a 10,000 PPMv, a las primeras se les considera de “emisiones fugitivas” y a las segundas de fugas (de ahí el nombre).

Para este ejemplo se trabajó con una hoja de cálculo con la información de factores de emisión de la tabla 2.6 de la referencia (USEPA, 1995) y la información supuesta, correspondiente a la instalación analizada.

Tipo de corriente contenida	Cantidad	=>10,000 PPMv	Emisión kg/h	Cantidad	<10,000 PPMv	Emisión kg/h
Válvulas Gas	50	0.2626	13.13	1550	0.00006	0.093
Líquido ligero	10	0.0852	0.852	290	0.0017	0.493
Líquido pesado	1	0.00023	0.00023	9	0.00023	0.00207
Sellos de bombas Líquido ligero	2	0.437	0.874	23	0.012	0.276
Líquido pesado	0	0.3885	0	2	0.0135	0.027
Sellos de compresores gas	0	1.608	0	6	0.0894	0.5364
Válvulas de relevo (PRV) gas	0	1.691	0	20	0.0447	0.894
Conectores todas	2	0.0375	0.075	13	0.00006	0.00078
líneas cerradas todas	1	0.1195	0.1195	29	0.015	0.435
Puertos de muestreo todas		NA			NA	
			15.05073			2.75725

Figura 44. Imagen de la hoja de cálculo usada con información de factores de emisión (metodología “leak, no leak” y las correspondientes fuentes de emisiones difusas de la planta de coque usadas como referencia para el ejemplo planteado

El mecanismo de cálculo es el mismo, se multiplica el factor correspondiente por la cantidad de fuentes de un tipo, en este enfoque es necesario conocer el intervalo de PPMv correspondientes a cada fuente, lo que implica un mayor esfuerzo aunque se obtiene un mejor estimado de la emisión de TOC.

Para obtener la emisión anual se necesita conocer el tiempo de operación de cada fuente, para este ejemplo se supone que operaron 8,000 horas al día, sumando las contribuciones de fugas y emisiones fugitivas se tiene 17.898kg/h (incluye 0.09kg/h mas del caso anterior por los puertos de muestro que no tienen factor en este) que producen una emisión anual de 143.183 toneladas de TOCs por año. Como se puede ver, la emisión por fugas corresponde poco más del 84%. Un mayor detalle en el conocimiento del equipo lleva a tener una mejor estimación de las emisiones, que por lo regular es de menor magnitud que la hecha solo con promedios (caso anterior).

Nota 1: Los factores de emisión corresponden a la tabla 2.6 de la referencia (USEPA, 1995) y corresponden a los compuestos orgánicos totales (TOC por su siglas en ingles), estos incluyen compuestos no COVs como el metano y etano, en el caso de que se quiera separar las emisiones de metano y etano por separado es necesario tomar consideraciones especiales para hacer la especiación que tienen que ver con un conocimiento más profundo del proceso.

Nota 2: Los factores de emisión correspondientes a corrientes con agua e hidrocarburos aplican para concentraciones de agua cercanas al 50% hasta 99%, cuando la concentración de agua es mayor al 99% la emisión de TOC se considera despreciable.

Nota 3: Estos factores no se hicieron pensando en reportar un solo equipo, sino para una población de ellos, tampoco hacen diferencias entre las diferentes instalaciones y características particulares, con excepción del “nivel de fuga” ya citado, éstos proveen una mejor referencia que el caso anterior y son adecuados cuando no existe una mejor forma de hacer estas estimaciones.

Nota 4: En el presente ejemplo se supone que toda la masa de los TOC se emite a la atmosfera, lo cual es cierto en la mayoría de las ocasiones o cuando menos es factible asumirlo sin generar un error considerable.

Nota 5: EL tiempo de operación debe de ser aquel en el cual el elemento contenga una corriente que lo haga susceptible de convertirlo en fuente de emisiones.

Nota 6: El presente ejemplo se hizo con factores de emisión de instalaciones de refinación de petróleo puesto que las plantas coquizadoras son también parte de refinerías (al menos las coquizadoras de petróleo) y de instalaciones de gasificación

de carbón, ya tienen cierta similitud con las que existen en siderúrgicas. En el sector de petróleo este tipo de emisiones es mucho mayor que en el metalúrgico simplemente por el volumen de hidrocarburos manejado.

Ejemplo 2.3-4c. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión. TOCs, COVs y noCOVs emitidos desde válvulas, sellos, bridas y otras fuentes

El tercer enfoque conocido como de “Correlación EPA” ofrece un grado más de refinamiento en la estimación de emisiones de equipos, ya que proporciona una ecuación para predecir la tasa de emisiones a partir de los valores de muestreos de PPMv realizados por la instalación.

Para poderlo utilizar es necesario tener un inventario de las fuentes y además haber realizado mediciones de los PPMv que éstos emiten, las ecuaciones de correlación de la EPA, hechas a partir de diversos estudios se presentan a continuación.

Equipo	PPMv	A	B	kg/h	kg/h a 0 PPMv	umbral superado de	
						kg/h 10,000	kg/h 100,000
Válvulas (todas)	10,000	2.29E-06	0.746	2.21E-03	7.80E-06	0.064	0.14
Sellos de bombas (todas)	10,000	5.03E-05	0.61	1.39E-02	2.40E-05	0.074	0.16
Otros	10,000	1.36E-05	0.589	3.09E-03	4.00E-06	0.073	0.11
Conectores	10,000	1.53E-06	0.735	1.33E-03	7.50E-06	0.028	0.03
Bridas (todas)	10,000	4.61E-06	0.703	2.99E-03	3.10E-07	0.085	0.084
Lineas cerradas (todas)	10,000	2.20E-06	0.704	1.44E-03	2.00E-06	0.03	0.079

Figura 45. Imagen de la hoja de cálculo usada con información de factores de emisión (metodología “correlación EPA”) y las correspondientes fuentes de emisiones difusas de la instalación analizada, usadas como referencia para el ejemplo planteado

Las ecuaciones propuestas por la EPA tienen la forma de $E=A*(PPMv)^B$ y se utilizan cuando el dispositivo de medición marca de 1 a 9,999 PPMv, aunque se pueden utilizar para mediciones mayores si éste cuenta con un sistema de dilución, cuando se supera el umbral del aparato (en este caso 10,000 PPMv o más) se utiliza el valor de emisión reportado en la 7ma columna y si se supera el de 100,000 el de la 8va, cuando el aparato marca 0 PPMv se toma el valor de emisión de la 6 columna ya que la experiencia muestra que éste no corresponde a 0.0kg/h.

Para poder aplicar estas ecuaciones es necesario tener el detalle de todas las fuentes con su correspondiente medida de PPMv realizadas por el personal de la planta, lo que requiere de un esfuerzo mayor y de consideraciones adicionales, por ejemplo, si no se puede muestrear todos los elementos y llevar el correspondiente registro, se tendrá que determinar una muestra estadística de las fuentes totales, hacer segmentos de PPMv y consideraciones finales para hacer el cálculo final de la emisión a reportar.

Ya sea midiendo a todas las fuentes presentes o a una muestra, en principio, las ecuaciones se utilizan de manera individual, por cada elemento, si se hacen varias mediciones para un elemento, nunca se promedian los PPMv medidos, sino que se hace un registro de emisiones por cada medición.

Muestreo individual						
Equipo	Fecha	PPMv	A	B	kg/h/fuente	
U10-PSV-023-111	2 de Enero de 2011	2,345	2.29E-06	0.746	7.48E-04	
U10-PSV-023-111	5 de Marzo de 2011	5,673	2.29E-06	0.746	1.45E-03	
U10-PSV-023-111	3 de Mayo de 2011	3,566	2.29E-06	0.746	1.02E-03	
U10-PSV-023-111	4 de Julio de 2011	4,152	2.29E-06	0.746	1.15E-03	
U10-PSV-023-111	1 de Septiembre de 2011	3,221	2.29E-06	0.746	9.48E-04	
U10-PSV-023-111	6 de Noviembre de 2011	2755	2.29E-06	0.746	8.44E-04	
				AVG=	1.03E-03	

Figura 46. Detalle de la hoja de cálculo usada para la recopilación de información puntual de muestreo individual necesario para la aplicación de la metodología de correlación propuesta por la USEPA

Para calcular la emisión anual en la mayoría de los casos se recurre a un promedio aritmético de las emisiones calculadas, justo como en muestreos de otros contaminantes.

En el caso de un plan de muestreo, éste se debe de especificar claramente, así como la metodología seguida para hacer los cálculos que permitan hacer la estimación, por ejemplo, se mostrará un ejercicio de cálculo tomando como base la instalación de los ejemplos anteriores.

1. Se determina una muestra estadística de los elementos totales, misma que debe de ser representativa del total (la forma de determinarla puede variar en cada caso y es demasiado para explicarla aquí), para este ejemplo supongamos que para el caso de las válvulas, ésta se compone de 12 unidades, plenamente identificadas (se hace lo mismo con el resto de los tipos de fuentes pero el ejemplo solo seguirá el cálculo de las válvulas).
2. Cada mes se tomarán muestras de PPMv de las 12 unidades seleccionadas, por triplicado, cada lectura se anota y calculan los kg/h, se deja como valor del muestreo el promedio de los kg/h de cada ocasión. Para el mes siguiente se seleccionan otras 12 unidades a muestrear al azar.
3. Según los resultados obtenidos, se establecen niveles de emisión, así como la fracción de elementos totales que integra a cada uno, este criterio es el que se usarán para hacer la estimación total del resto de las unidades, para este caso, supongamos que se determina que sean 3 grupos, de 0 a 4,999, de 5,000 a 9,999 y de 10,000 a 99,999. Se muestra el cálculo a continuación.

Cálculo de la emisión		Total de elementos en la instalación				1,600 (Válvulas)				
Equipo	desde...	hasta...	%	Cantidad	PPMv	A	B	Dilución	kg/h/fuente	Emisión kg/h
Válvulas (todas)	1	4,999	90	1,440	1,979	2.29E-06	0.746	1	6.59E-04	9.49E-01
Válvulas (todas)	5,000	9,999	6.9	110	7,391	2.29E-06	0.746	1	1.76E-03	1.94E-01
Válvulas (todas)	10,000	99,999	3.1	50	4,927	2.29E-06	0.746	10	1.30E-02	6.46E-01
Total				1,600						1.789

h/año	emisión kg/año
8,000	14,313.133

Figura 47. Detalle de la hoja de cálculo usada para el cálculo de la emisión mediante la metodología de correlación de la USEPA (factores de emisión) para el ejemplo planteado.

- Los PPMv que se usaron para hacer la estimación de las emisiones de cada segmento se determinaron para que el error del cálculo sea el mismo en las dos direcciones, es decir, si se diera el caso de que todos los elementos en un nivel de emisión estuvieran en el límite inferior, el error en la estimación sería el mismo que si estuvieran en el límite superior, este número se calcula fácilmente a partir de las ecuaciones de correlación. El tercer grupo toma sus mediciones con un sistema de dilución de aire de 10 a uno, por lo que los kg/h obtenidos se multiplican por 10.
- Finalmente los kg/h se suman y se obtiene que de las válvulas de gas emiten 1.789kg/h, si se opera 8,000 horas en un año, la emisión anual es de 14.313 toneladas de TOCs, se hace todo este procedimiento para los otros tipos de elementos (sellos de bombas, compresores, bridas, etc.) y se suman.

Nota 1: En el presente ejemplo se supone que toda la masa de los TOC se emite a la atmosfera, lo cual es cierto en la mayoría de las ocasiones o cuando menos es factible asumirlo sin generar un error considerable.

Nota 2: El presente algoritmo de cálculo para la estimación de PPMv solo es un ejemplo simple de los protocolos de estimación de estos contaminantes, no pretende ser un modelo a seguir, de ejecutarse en una planta verdadera es responsabilidad de esta que se documente y fundamente bien, así como tomar en cuenta todos los factores propios de la operación y mantenimiento de una instalación verdadera, los detalles técnicos de la toma de muestras y el manejo de cualquier eventualidad que pudiera surgir para poder dar resultados óptimos.

Nota 3: Si las ecuaciones de correlación de la EPA no son las más adecuadas, es posible desarrollar las propias para incluirlas en este tipo de estudios, para tal fin se puede ver el ejemplo 2.3-4d en donde se muestra de forma simple como pueden construirse a partir de muestreos reales.

Nota 4: EL tiempo de operación debe de ser aquel en el cual el elemento contenga una corriente que lo haga susceptible de convertirlo en fuente de emisiones.

Nota 5: El presente ejemplo se hizo con factores de emisión de instalaciones de refinación de petróleo puesto que las plantas coquizadoras son también parte de refinerías (al menos las coquizadoras de petróleo) y de gasificación de carbón, ya tienen cierta similitud con las que existen en siderúrgicas. En el sector de petróleo este tipo de emisiones es mucho mayor que en el metalúrgico por el volumen de hidrocarburos manejado.

Datos históricos

Estos consisten en utilizar datos de otros procesos, similares al propio o datos de años anteriores cuando las condiciones de operación son similares a las del año de reporte, para hacer estimados de contaminantes de los que no se tienen mediciones o factores de emisión apropiados.

Con frecuencia, se tienen variables de proceso que se relacionan unas con otras de forma lineal (al menos de manera práctica), es decir, que un incremento en una significa un incremento o disminución en la otra con una cierta proporcionalidad.

Cuando se tiene información que puede contener errores significativos, se prefiere establecer un polinomio (recta o curva) que no pase por cada punto de la medición sino cerca de ellos, para el caso de variables que se relacionan de una manera lineal, la construcción de una aproximación con mínimos cuadrados se hace de la siguiente manera.

Algoritmo 2.3.3. Análisis de la aproximación polinomial (lineal) con mínimos cuadrados, usando datos históricos

1. Se parte de una colección de datos cuya relación se presume real y que reflejen la información relacionada con la emisión, es decir, se busca obtener una expresión matemática que permita calcular diferentes valores de una variable respecto a otra de forma lineal como la siguiente:

$$p(x) = a_0 + a_1x$$

Donde a_0 es la ordenada de origen y a_1 es la pendiente, mientras que $p(x)$ es la variable dependiente a calcular y x la variable independiente.

2. Se parte del siguiente supuesto:

$$\sum_{i=1}^m (p(x_i) - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^m d_i^2 = \text{mínimo}$$

Es decir que la suma de los cuadrados de los valores absolutos de las diferencias entre la recta propuesta y los puntos dados (datos históricos colectados) sea un mínimo.

Se utilizan datos cuadrados puesto que lo que importa es la magnitud de la diferencia, así se evita el problema de cancelación de valores con diferencias positivas y negativas (todos los números elevados al cuadrado dan uno positivo).

3. Por lo tanto el problema se reduce a minimizar la siguiente expresión:

$$\sum_{i=0}^m [a_0 + a_1 x_1 - f(x_1)]^2$$

4. Para encontrar el mínimo de la expresión planteada se deriva parcialmente respecto a a_0 y luego parcialmente respecto a a_1 , ambas derivadas se igualan a cero, posteriormente se desarrollan las sumatorias y se reagrupan los términos en función de a_0 y a_1 , quedando un sistema de 2 ecuaciones con dos incógnitas, (ambas con sumatorias), mismo que por su simplicidad se puede resolver por la regla de Cramer quedando de la siguiente manera:

$$a_0 = \frac{[\sum_{i=1}^m f(x_1)][\sum_{i=1}^m x_i^2] - [\sum_{i=1}^m x_i][\sum_{i=1}^m f(x_i)x_i]}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - [\sum_{i=1}^m x_i]^2}$$

$$a_1 = \frac{m[\sum_{i=1}^m f(x_i)x_i] - [\sum_{i=1}^m f(x_1)][\sum_{i=1}^m x_i]}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - [\sum_{i=1}^m x_i]^2}$$

Recuerde que en una sumatoria la “i” representa el elemento iésimo (primero, segundo, tercero etc.) y “m” el total de elementos, a continuación se muestra un ejemplo para utilizar adecuadamente las fórmulas obtenidas.

Ejemplo 2.3-4d. Estimación de emisiones de TOCs, COVs, noCOVs e/o inorgánicos a través de aproximación polinomial con logaritmos

Como se vio previamente el ejemplo 2.3-3c, es posible construir una ecuación a partir de mediciones de PPMv y emisiones de hidrocarburos de diferentes fuentes, este esfuerzo es mucho mayor a los anteriores, por lo que solo debe de hacerse si el resultado tendrá más valor agregado que el que proporcionan los métodos anteriormente expuestos.

Para llevarlo a cabo primero se necesita elaborar un plan de muestreo adecuado para la instalación, parecido al que se mostró en el ejemplo anterior de la serie (2.3-4c que al menos lo es para estos ejemplos), ya que se tiene la información, la construcción de la herramienta es relativamente simple y se visualiza bien con este ejemplo. El trabajo, ya hecho se muestra en la siguiente figura, posterior a ella se

explica brevemente como se hizo.

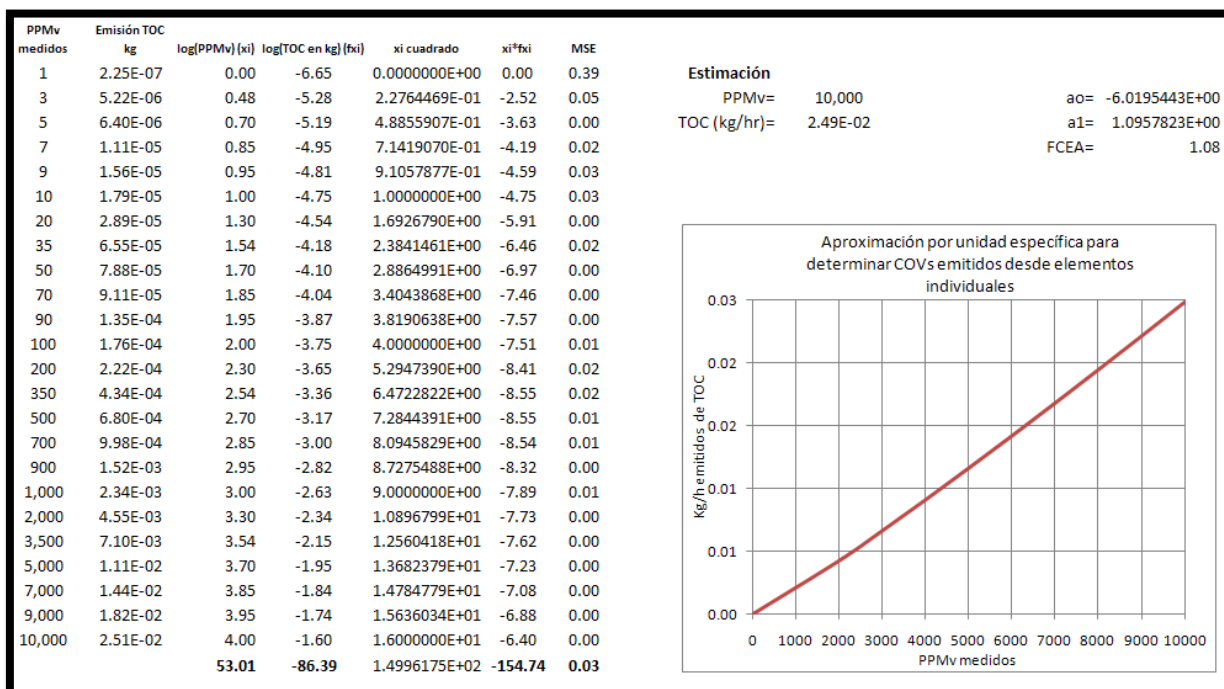


Figura 48. Imagen de la hoja de cálculo usada para construcción de ecuaciones de estimación de emisiones a través de la estimación polinomial con logaritmos para el ejemplo presente

Para hacer la correlación para el elemento seleccionado (por ejemplo la válvula PRV-023) se hacen los siguientes grupos o intervalos de valores:

- 1) 1 a 10 PPMv,
- 2) 11 a 100 PPMv,
- 3) 101 a 1000 PPMv,
- 4) 1001 a 10,000,

La medición se termina hasta los 10,000 PPMv porque de ahí en adelante se puede utilizar con confianza los factores de emisión y correlaciones generales propuestos por la EPA para hacer la estimación. Solo para este ejemplo, el usuario tendrá que delimitar en el caso real hasta donde debe hacerlo según su situación particular.

Después se debe de tener una serie de mediciones de PPMv y los correspondientes flujos máxicos de una manera confiable (este trabajo implica todo un protocolo de muestreo y es la mayor carga de trabajo), para este ejemplo se fijaron arbitrariamente, la EPA con su experiencia en muestreos y correlación de datos recomienda hacer al menos 6 de cada intervalo para tener confiabilidad.

El procedimiento de correlación se hace igual al explicado anteriormente (en el algoritmo 2.3-3), con la diferencia de que los valores a usar en la correlación serán

los logaritmos, base 10, de cada elemento (se puede hacer también con logaritmos naturales).

Puesto que el cálculo lleva los valores a un espacio geométrico diferente al aritmético y luego los regresa, es necesario calcular un parámetro de corrección, éste empieza con obtener el error medio estándar (MSE por sus siglas en inglés) que es igual a la suma de las diferencias al cuadrado de los valores de la y original menos la y calculada con “a0” y “a1”. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$MSE = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n r_i^2$$

En donde $r_i = Y_i - a_0 - a_1 x_i$

Con el valor del error estándar, se calcula el parámetro de corrección, que se hace mediante la suma de los primeros términos de su expresión como serie infinita (se toman los términos que se consideren necesarios):

$$FCEA = 1 + \frac{(m-1)T}{m} + \frac{(m-1)^3 T^2}{m^2 2! (m+1)} + \frac{(m-1)^5 T^3}{m^3 3! (m+1)(m+3)} + \dots,$$

En donde $T = (MSE/2) * (\ln 10)^2$ y $m = \text{número de muestras} - 1$.

Finalmente se llega a una expresión útil que para este ejemplo es:

$$\text{Emisión de TOCs en } \frac{\text{kg}}{\text{h}} = (FCEA) 10^{a_0} \text{PPM}_V^{a_1} = (1.076) 10^{-6.019} \text{PPM}_V^{1.096}$$

De esta manera se puede correlacionar la medida en partes por millón en volumen con un flujo de compuestos orgánicos totales en kg/h, la ecuación ahora se puede utilizar como las de la EPA en estimaciones de emisiones de contaminantes, como la planteada en el ejemplo 2.3-3c.

Nota: Puesto que este ejercicio es específico para un elemento, no necesariamente servirá para cualquier otro elemento de emisión en la planta (bridas, sellos, otras válvulas etc.), como ya se dijo, se requiere de una adecuada planeación para determinar qué elementos muestrear para poder desarrollar herramientas de cálculo adecuadas para estimar todas las emisiones de TOC, COVs y no-COVs.

Nota 2. Los no-COVs incluyen típicamente al metano, etano, cloruro de metileno, 1,1,1 tricloroetano y algunos CFC entre otros.

Nota 3: Este procedimiento también se puede utilizar para emisiones de compuestos inorgánicos, como vapores de HCl, HF, NH₃, SO₂ entre otros, siempre y cuando se tenga algún dispositivo capaz de hacer mediciones de PPM_v de estos compuestos.

Nota 4: Es de esperarse que las emisiones de contaminantes (TOCs, VOCs, noCOVs, inorgánicos) sean reducidas drásticamente a partir de modificaciones hechas ex profeso, en tales casos se ha observado que la reducción de emisiones, respecto al equipo o fuente sin ellas es como sigue.

Recuadro 34. Fuentes de emisiones fugitivas en la industria, con la correspondiente modificación o mejora para disminuirlas y la disminución verificada de dichas mejoras

Tipo de equipo	Modificación o mejora	Disminución en las emisiones aproximada (%)
Bombas	Diseño sin sellos	100
	Sistemas de venteo cerrado	90 (puede variar según los vapores colectados y como son dispuestos)
	Sello mecánico doble con fluido de barrera a mayor presión que el bombeado	90
Compresores	Sistemas de venteo cerrado	90
Dispositivos de relevo de presión (discos de ruptura o válvulas de relevo de presión mas sus combinaciones).	Sistemas de venteo cerrados	90 (puede variar según los vapores colectados y como son dispuestos)
	Montaje (adecuado) de discos de ruptura	100
Válvulas	Diseño sin sellos	100
Conectores	Soldadura conjunta	100
Líneas cerradas	casquetes, tapones, ciegos, segunda válvula.	100
Puertos de muestreo	Sistema de muestreo de bucle cerrado	100

Ejemplo 2.3-5a y 2.3-5b. Estimación de emisiones a través de aproximación polinomial con mínimos cuadrados, usando 20 y 5 datos históricos

Supóngase que se tiene un equipo de combustión en una empresa del sector que es similar a otros en la compañía y no se cuenta con una forma mejor de estimar sus emisiones de metano más que a partir de datos históricos de consumo de combustible de una caldera similar en tamaño, diseño y operación. Para este ejemplo, se hizo un ajuste con mínimos cuadrados, para calcular la emisión de CH₄, generando una ecuación que permita el cálculo de la actual. Supóngase que en el año de reporte se consumieron 123,456 metros cúbicos de gas natural en el equipo de interés.

La hoja de cálculo con los datos históricos y la regresión lineal se muestra en la siguiente figura.

Dato.	Consumo en m3 de GN (xi)	Emisión de CH4 kg (fxi)	xi cuadrado	xi*fxi
1	123,467.00	4.78	1.5244100E+10	590,172.26
2	103,280.00	3.88	1.0666758E+10	400,726.40
3	97,280.00	3.40	9.4633984E+09	330,752.00
4	95,642.00	3.51	9.1473922E+09	335,230.48
5	134,789.00	4.77	1.8168075E+10	642,943.53
6	128,900.00	4.60	1.6615210E+10	592,940.00
7	101,221.00	3.60	1.0245691E+10	364,395.60
8	84,578.00	3.23	7.1534381E+09	273,186.94
9	122,021.00	4.64	1.4889124E+10	566,177.44
10	110,011.00	4.03	1.2102420E+10	443,525.33
11	137,745.00	4.80	1.8973685E+10	661,176.00
12	150,212.00	5.50	2.2563645E+10	826,904.70
13	130,189.00	4.90	1.6949176E+10	637,926.10
14	100,111.00	3.45	1.0022212E+10	345,382.95
15	123,550.00	4.53	1.5264603E+10	559,411.90
16	98,463.00	3.88	9.6949624E+09	382,036.44
17	115,784.00	4.32	1.3405935E+10	500,186.88
18	129,330.00	4.74	1.6726249E+10	612,977.82
19	105,382.00	3.65	1.1105366E+10	384,644.30
20	125,674.00	4.51	1.5793954E+10	566,789.74
Sumatorias	2,317,629.00	84.72	2.7419539E+11	10,017,486.81

Figura 49. Imagen de la hoja de cálculo usada para la regresión polinomial con mínimos cuadrados para estimar emisiones de metano a partir de 20 datos históricos

Los valores encontrados para a_0 y a_1 son 1.1344374×10^{-1} y 3.5575238×10^{-5} respectivamente.

Puesto que en el equipo de interés el sistema de combustión es similar a los años anteriores (supuesto para este ejemplo), es adecuado postular que si se consume una cantidad de combustible “x” se generará una cierta cantidad de CH₄ proporcional respecto al histórico.

Para fines prácticos de esta metodología se construye una hoja de cálculo como la mostrada, en donde se observa la “m” que representa el total de datos del histórico (20 distintas entradas de datos, pueden ser meses, años etc.), cada xi es el consumo de combustible reportado (toneladas de carbón) y cada fxi son las toneladas de CH₄ emitidas.

La $(xi)^2$ y la $xi*fxi$ se colocan en la hoja porque se necesita calcular su sumatoria para alimentar las ecuaciones obtenidas de a_0 y a_1 .

Con la hoja de cálculo así construida es fácil sustituir obtener los valores de a_0 y a_1

con los cuales la hoja de cálculo hace la determinación del consumo actual que para este caso debe ser:

$$E_{CH_4} = a_0 + a_1 C_{com} = 1.1344374 \times 10^{-1} + 3.5575238 \times 10^{-5} (123,456 \text{ m}^3) = 4.51 \text{ kg}$$

En la siguiente gráfica se observa la comparación de los datos reales con el ajuste lineal realizado.

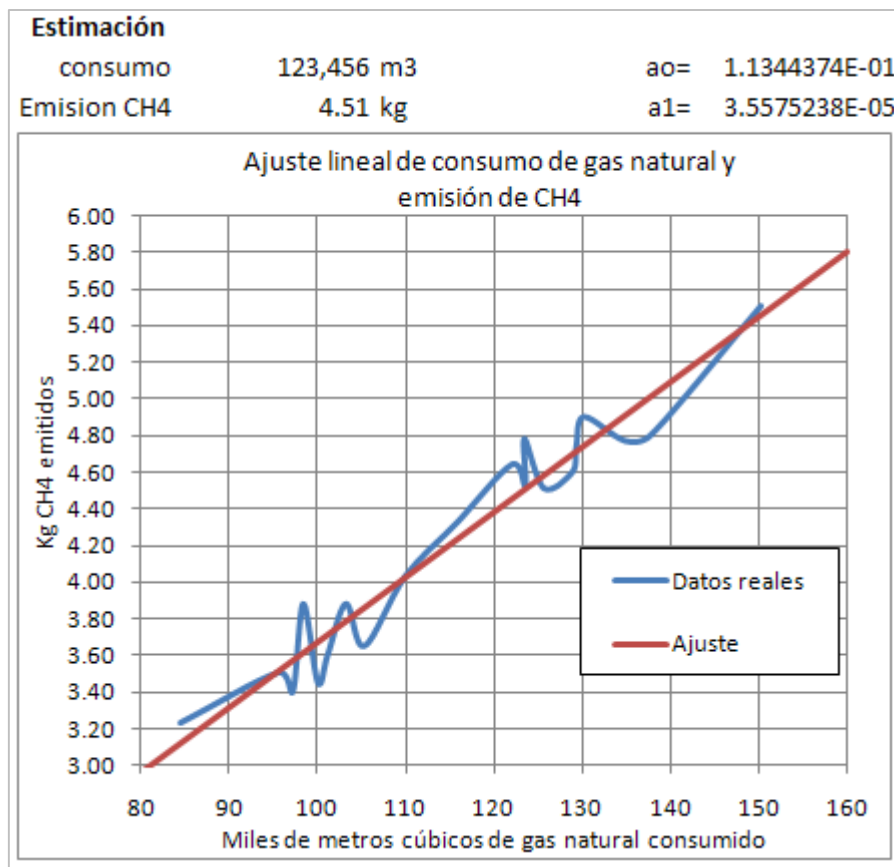


Figura 50. Comparación gráfica entre los datos reales usados para la regresión lineal y la ecuación obtenida para hacer las estimaciones. Usando 20 datos

Ya que se emiten menos de 100 toneladas en el año de reporte la emisión no deberá reportarse en la tabla 5.2.

Nota: Las cantidades de metano producidas a partir del gas natural, son parecidas a las obtenidas mediante los factores de emisión del IPCC (no deben tomarse como referencia), se usó metano para hacer simple el ejemplo, pero en la realidad se puede utilizar para aquellos contaminantes que no cuenten con una mejor opción (medición directa, factores de emisión adecuados), se debe de justificar plenamente el uso de datos históricos propios (o de un proceso o equipo similar) para calcular una emisión, para el ejemplo se da por hecha esta justificación.

Nota 2: La SEMARNAT autoriza el uso de datos históricos siempre y cuando sean al

menos 5 datos o los provenientes de 5 años.

Si se hace el ejemplo anterior realizado con 5 datos, no cambia mucho el valor encontrado (para este caso), los datos tomados en cuenta son los últimos:

Dato.	Consumo en m3 de GN (xi)	Emisión de CH4 kg (fxi)	xi cuadrado	xi*fxi
1	98,463.00	3.88	9.6949624E+09	382,036.44
2	115,784.00	4.32	1.3405935E+10	500,186.88
3	129,330.00	4.74	1.6726249E+10	612,977.82
4	105,382.00	3.65	1.1105366E+10	384,644.30
5	125,674.00	4.51	1.5793954E+10	566,789.74
Sumatorias	574,633.00	21.10	6.6726466E+10	2,446,635.18

Figura 51. Imagen de la hoja de cálculo usada para la regresión polinomial con mínimos cuadrados para estimar emisiones de metano a partir de 5 datos históricos

La nueva gráfica y los nuevos valores de a_0 y a_1 y del resultado son:

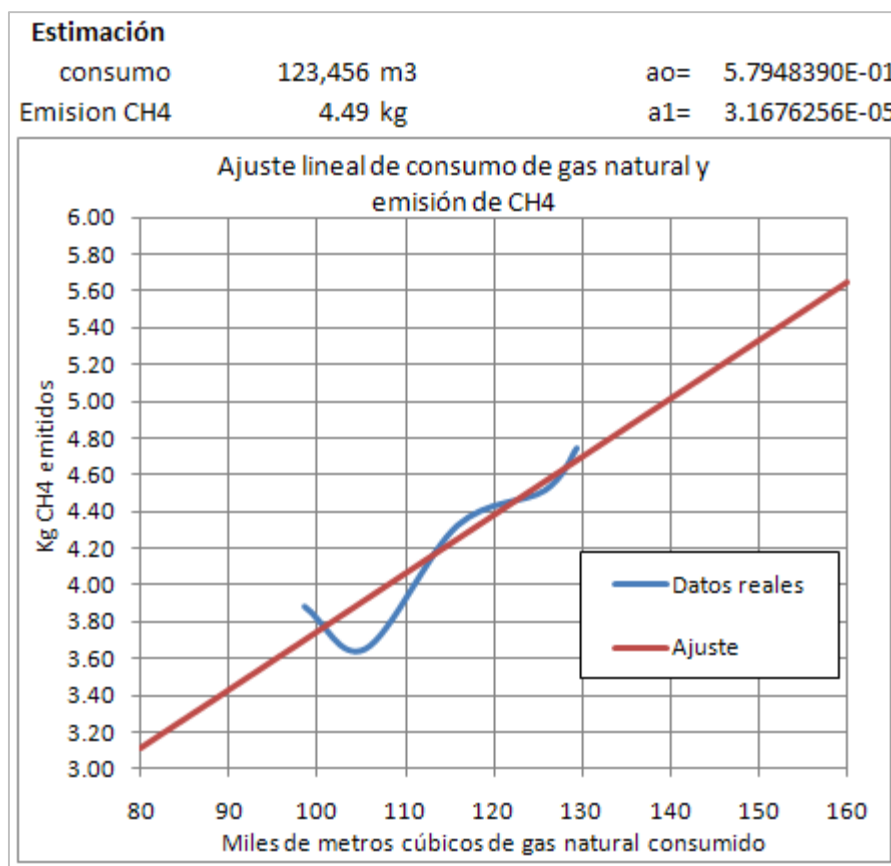


Figura 52. Comparación gráfica entre los datos reales usados para la regresión lineal y la ecuación obtenida para hacer las estimaciones. Usando 5 datos

Nota: El cálculo de la emisión usando 20 datos y solo 5 no varía de forma

significativa (4.51 vs 4.49 kg de metano) ya que las mediciones fueron las adecuadas (para efectos del ejemplo), esto podría no suceder en los casos reales por lo que tener una mayor cantidad de datos minimizaría el posible error, se fijaron 5 datos como mínimo tratando de ser prácticos sin sacrificar demasiado la confiabilidad, pero no se limita a este número, de tener disponibles más datos (confiables) se recomienda usarlos.

Balance de materiales

Es una de las formas más empleadas en la industria para determinar salidas, entradas o acumulaciones en el proceso productivo, se basa en que la materia no se crea ni se destruye en el interior de éste, solo se transforma (para efectos prácticos, se transforma en otro tipo de materia), para hacer un balance emplea el siguiente algoritmo general.

Algoritmo 2.3-4. Cálculo de las emisiones a partir de balance de materiales

1. Delimitar el sistema a analizar, este por lo general es un equipo o una sección o etapa del proceso en donde se generan contaminantes.
2. Determinar las entradas y salidas del proceso, en este caso, corrientes de entrada y salida más las emisiones de contaminantes.
3. Identificar los componentes de interés y la fracción conocida de cada uno de ellos en cada corriente.
4. Plantear el sistema de ecuaciones correspondiente, el número de variables desconocidas debe de ser igual al número de variables conocidas (flujos, composiciones), si se tienen menos ecuaciones que variables el sistema esta subespecificado y no se puede resolver (al menos no por un balance simple), si existen más ecuaciones que variables el sistema está sobre especificado (existen datos de más).
5. Si existen reacciones químicas, éstas deben estar balanceadas y se plantean con toda la información que se disponga, con base en ellas se hace el planteamiento del consumo y/o producción de la sustancia de interés que para fines prácticos, se puede considerar como otra entrada y/o salida del proceso.
6. Resolver el sistema de ecuaciones, para ello una herramienta de cálculo electrónica suele ser de gran utilidad.

Ejemplo 2.3-6. Balance de materiales para la determinación de partículas emitidas a la atmósfera y determinación del cumplimiento de la NOM-043-SEMARNAT-1993

Este cálculo implica conocer la emisión bruta del equipo en cuestión y la cantidad de partículas retenidas por el sistema de control más un cálculo según la norma referida

para comparar. Supóngase que se tiene un EAF que durante el año de reporte produjo 1×10^6 toneladas de acero líquido de baja aleación y el sistema de control de emisiones manejó $1,380,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Para calcular las emisiones de partículas del equipo se toma el dato proporcionado por el documento (BREF, 2001a), que dice que comúnmente, se producen de 14 a 20kg de partículas por tonelada de acero de baja aleación (aunque en algunos casos se pueden emitir más), para este caso se tomará como factor de emisión la cantidad de 20kg/ton de acero líquido (determinado arbitrariamente para este ejemplo, en el caso real se tiene que tomar la cantidad que mas represente el caso). El cálculo correspondiente es el siguiente:

$$\text{Emisión de partículas} = \left(\frac{1 \times 10^6 \text{ ton de AL}}{\text{año}} \right) \left(\frac{0.020 \text{ ton}}{\text{ton AL}} \right) = \frac{20,000 \text{ ton}}{\text{año}}$$

Ahora hay que restarle a esta cantidad la masa de partículas colectadas por el sistema de control de emisiones (precipitadores, filtros de bolsas etc.), supóngase que para este caso, se tuvieron $19,876 \text{ ton/año}$ de partículas provenientes de este equipo, en tal caso la emisión real es la diferencia, que corresponde a 124 ton/año de partículas.

Puesto que en ocasiones no es posible saber qué cantidad de partículas proviene de qué equipo, se puede obtener el mismo resultado a partir de la eficiencia del equipo de control, para este caso supóngase que es de 99.38%, el cálculo es el siguiente:

$$\text{Emisión de partículas} = \left(\frac{20,000 \text{ ton}}{\text{año}} \right) \left(1 - \frac{99.38}{100} \right) = \frac{124 \text{ ton}}{\text{año}}$$

Por lo general, la eficiencia de estos sistemas es igual o mayor al 99% y si no se conoce la eficiencia real o puntual del equipo, muchas veces se toma la nominal que es proporcionada por el fabricante.

Si esta alternativa no es la más adecuada, también se puede recurrir a información dada en la literatura que toma en cuenta la emisión y el sistema de control, el documento (BREF, 2001a) menciona que para estos hornos, con sistema de control de emisiones, se tienen registradas emisiones de partículas entre 1 y 780 g/ton de acero líquido, este intervalo de valores tiene un promedio de 124 y una desviación estándar de 166 g/ton de acero líquido, y para siderúrgicas con sistemas de control de emisiones bien diseñados se logran emisiones de menos de 20 g/ton de acero líquido. Para este equipo supóngase que a partir del conocimiento del proceso, se determina que el valor más representativo de emisión es el promedio, 124 g/ton de acero líquido. La emisión real se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Emisión de partículas} = \left(\frac{1 \times 10^6 \text{ ton de AL}}{\text{año}} \right) \left(\frac{124 \text{ g}}{\text{ton AL}} \right) \left(\frac{\text{ton}}{1 \times 10^6 \text{ g}} \right) = \frac{124 \text{ ton}}{\text{año}}$$

Las partículas colectadas tienen una composición que varía, aunque se encuentran en ellas diversos metales con excepción del mercurio, que no es retirado junto con ellas de la corriente de gases. Como se puede ver en el presente ejemplo, todos los números concuerdan al utilizar diferentes formas de calcular la emisión, en los casos reales, generalmente no ocurre esto, por lo que el responsable del cálculo debe elegir la forma de estimación más confiable según su caso.

Ahora, para saber si se cumple con la norma NOM-043, se necesita calcular el límite máximo de emisión de partículas, mismo que está en función del flujo de gas que lleva las partículas y de la zona en donde se encuentre la instalación. Para este ejemplo, supóngase que la instalación no está en una zona crítica.

Puesto que la ecuación requiere que el flujo de aire esté en metros cúbicos a condiciones normales (298K y 101,325Pa, base seca) por minuto, por lo que hay que ajustar la información que se tiene del proceso (1,380,000Nm³/h a 273K y 101,325Pa, base seca). El ajuste de condiciones es el siguiente:

$$1,380,000 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \left(\frac{295\text{K}}{273\text{K}} \right) = 1,491,208.86 \frac{\text{nm}^3}{\text{h}}$$

Para fines prácticos, en estas condiciones, el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura, ya que la nueva condición tiene una temperatura mayor que la original, es lógico esperar que se tenga un volumen de gas mayor. Respecto a las unidades, en la literatura consultada se manejó el “Nm³” como metro cúbico a condiciones “estándar”, ahora para indicar las condiciones normales, se usó la nomenclatura “nm³” para hacer la diferencia en este ejemplo. Puesto que no hay cambio de presión de una condición a otra, no es necesario hacer otro ajuste, únicamente obtener el flujo de gas en minutos, el cálculo es el siguiente:

$$\left(1,491,208.86 \frac{\text{nm}^3}{\text{h}} \right) \left(\frac{\text{h}}{60\text{min}} \right) = 24,853.476 \frac{\text{nm}^3}{\text{min}}$$

Con el valor ajustado, se hace el cálculo del límite máximo de emisión de partículas, usando la ecuación descrita en la norma, el cálculo es el siguiente:

$$E = \frac{4,529.7}{C^{0.42}} = \frac{4,529.7}{\left(24,853.476 \frac{\text{nm}^3}{\text{min}} \right)^{0.42}} = 64.567 \frac{\text{mg}}{\text{nm}^3}$$

Ahora se hace el cálculo de emisión máxima por año para compararlo con el real, obtenido previamente. El cálculo es el siguiente:

$$\left(\frac{64.567\text{mg}}{\text{nm}^3} \right) \left(\frac{\text{ton}}{1 \times 10^9 \text{mg}} \right) \left(\frac{1,491,208.86 \text{nm}^3}{\text{h}} \right) \left(\frac{8,000\text{h}}{\text{año}} \right) = 770.26 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Dado el resultado, la emisión del EAF con sistema de control de emisiones es menor al límite máximo calculado. De no tener el sistema de control sería imposible cumplir con esta norma.

Modelo matemático

Este tipo de metodologías de cálculo incluyen una comprensión más a detalle del proceso productivo, expresada en forma de ecuaciones, inecuaciones, matrices, etc. mediante las cuales se pueden hacer estimaciones y predicciones razonablemente buenas.

En el modelo matemático puede incluir la cinética de reacciones químicas, los fenómenos de transporte propios de cada etapa, balances de materia y energía, las características de cada equipo en particular etc. más una estrategia de solución (métodos numéricos y/o analíticos) para extraer información útil del modelo, por lo general, todo se incluye en un software que mediante una interface pide al usuario información del mismo proceso para estimar otro aspecto de él.

Algunos ejemplos de estos paquetes de cómputo disponibles para cálculos de ingeniería (particularmente ingeniería química y de generación de energía) son:

APMonitor Modeling Language, ASCEND, Aspen Plus, Aspen HYSYS, Aspen Custom Modeler by Aspen Technology, ASSETT, D-SPICE and K-Spice by Kongsberg Oil & Gas Technologies AS, CADSIM Plus by Aurel Systems Inc., CHEMCAD by Chemstations, COCO simulator, COMSOL Multiphysics, Design II for Windows by WinSim Inc., Distillation Expert Trainer, DWSIM (open-source), EcosimPro EMSO, the Environment for Modelling, Simulation and Optimisation from the ALSOC Project, Dymola FlowManager™ by FMC Technologies, GIBBSimPROMS by PSE Ltd, INDISS by RSI, ICAS: Integrated Computer Aided System developed by CAPEC, IDEAS by Andritz Automation, ISE Simulator by VRTech Jacobian LIBPF, the C++ LIBrary for Process Flowsheeting, Mobatec Modeller by Mobatec, OLGA by SPT Group, Omegaland y Yokogawa, OpenModelica, PIPE-FLO Professional by Engineered Software, Inc., PottersWheel Matlab toolbox to calibrate parameters in chemical reaction networks, Prode Sim Properties, ProSimulator by Sim Infosystems, ProSimPlus by ProSim, Petro-SIM, PETROX, ProMax & TSWEET and PROSIM by Bryan Research & Engineering, SimCreate by TSC Simulation, Simulis by ProSim SPEEDUP by Roger W.H. Sargent and students, SolidSim - flowsheet simulation of solids processes by SolidSim Engineering GmbH, SuperPro Designer by IntelligenSysCAD System7 by Epcon International, UniSim Design & Shadow Plant by Honeywell, Usim Pac by Caspeo, VMGSim by Virtual Materials Group entre otros.

Para el caso de la producción de acero y ferroaleaciones, la Asociación Mundial del Acero, (World Steel Association) ha desarrollado una hoja de cálculo que permite calcular las emisiones de CO₂ y el consumo de energía a partir del consumo de insumos. El cálculo se basa en factores de emisión generales.

Cálculos de ingeniería

Éstos son todos aquellos que se hacen, con fundamento en el conocimiento del proceso mismo (empírico y teórico) para hacer una estimación específica, pueden incluir consideraciones y suposiciones muy particulares para el caso (deben estar fundamentadas).

Ejemplo 2.3-7a. Estimación de emisiones por especiación, caso I (composición de las emisiones igual a la del fluido conducido)

En el manejo de hidrocarburos (como el gas natural, usado como combustible) es común tener corrientes que son constituidas por componentes puros (o relativamente puros) y otras que llevan una gran cantidad de componentes (combustibles líquidos por ejemplo), aunque estimar la masa total de emisiones (TOCs, COVs, etc.) en ocasiones es necesario determinar qué y cuanto de cada componente es emitido.

Para lograrlo, es necesario hacer consideraciones particulares para cada caso, ya que el mecanismo y condiciones particulares que generan la emisión pueden variar, por ejemplo, si se tiene una corriente en fase gaseosa (gas o vapor), con diversos hidrocarburos en ella, la especiación de ellos será según la fracción en masa de cada uno de ellos. Supóngase que se tiene una corriente de gas natural con la siguiente composición.

Recuadro 35. Composición del gas natural en fracción masa para la especiación de emisiones iguales a la composición del fluido manejado

Componente	Fracción en masa
Metano	0.95
Etano	0.04
CO ₂	.01

Y que la emisión total de compuestos orgánicos totales (TOCs) para las fuentes (todas) que manejan o contienen la corriente anterior, previamente estimadas son de 1.03kg/h operando 8,000h/año si se quiere determinar la emisión de gas metano se procede así:

$$\text{Emisión anual } \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \left(1.03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(8,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) = 8,240 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para estimar la emisión de metano se procede como ya se explicó:

$$E_{\text{CH}_4} = E_{\text{TOC}} \left(\frac{f_{\text{CH}_4}}{f_{\text{TOC}}}\right) = \left(8,240 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \left(\frac{0.95}{0.99}\right) = 7,907.07 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Suponiendo que no haya otra emisión de metano en la instalación, los 8,240kg emitidos en el año de reporte se deben de reportar en la tabla 2.3 de la COA, si hubiera otras fuentes de emisiones, estas se tendrían que sumar y si el total fuera

mayor a 100,000kg/año entonces se reporta en la tabla 5.2 por ser una sustancia RETC.

Para el caso del CO₂ contenido (llamado “asociado”) se hace lo mismo, la contribución a la emisión total proveniente de esta línea es:

$$E_{CO_2} = \left(\frac{E_{TOC}}{f_{TOC}} \right) f_{CO_2} = \left(\frac{8,240 \text{ kg/año}}{0.99} \right) 0.01 = 82.23 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Esta contribución se evalúa de igual forma que el metano ya que también es una sustancia RETC (umbral de emisión de 100,000kg), es decir, se suma con la de otras fuentes como otras líneas con CO₂ asociado, de quemadores, calentadores, calderas, otros procesos que lo generen y emitan etc.

Esta suposición también se puede aplicar a sustancias líquidas que tienen volatilidades muy similares.

Ejemplo 2.3-7b. Estimación de emisiones por especiación, caso II (composición de emisiones diferente a la del fluido conducido)

Continuando con el ejemplo anterior, si el mecanismo físico que genera la emisión es aquel en donde el líquido contenido en una corriente es constituido por componentes con volatilidades diferentes primero sufre una separación súbita de fases (flashes) el vapor que sale contendrá una fracción mayor de componentes ligeros.

Para ejemplificar la estimación partiendo del escenario anterior, supóngase que tiene una corriente de hidrocarburos (como los recuperados del gas de coque) con la siguiente composición:

Componente	x (frac peso liq)
Benceno	0.12
Tolueno	0.18
Etil Benceno	0.1
Estireno	0.59
heptano	0.01
Total	1

Figura 53. Imagen de la hoja de cálculo con la información de la composición de la mezcla de solventes usada en el cálculo de emisiones fugitivas con diferente composición a la del fluido de la línea de origen

Para poder realizar los cálculos se necesita información adicional, como las constantes de la ecuación de Antoine para obtener la presión de vapor y el peso molecular y el umbral de emisión de sustancias RETC, estos valores se muestran a continuación.

	Antoine para Po			Más información utilizada				
	A	B	C	C	H	Cl	PM	Um kg/año
Benceno	9.28069	2788.507	-52.36	6	6	0	78.00	1000
Tolueno	9.3905	3094.543	-53.773	7	8	0	92.00	N.A.
Etil Benceno	9.39937	3279.468	-59.944	8	10	0	106.00	N.A.
Estireno	9.32315	3269.671	-67.15	8	8	0	104.00	1000
heptano	9.27321	2919.943	-56.25	7	16	0	100.00	N.A.

Figura 54. Imagen de la hoja de cálculo con la información consultada para el cálculo de emisiones fugitivas con diferente composición a la del fluido de la línea de origen

Los cálculos se realizan de la siguiente manera: Se calculan las fracciones mol (X_i) de todos los componentes en el líquido, empleando la fracción peso del mismo (x_i), y que fue dada anteriormente, para el caso del benceno el cálculo es como sigue ($i=1$):

$$X_i = \frac{x_i \left(\frac{1}{PM_i} \right)}{\sum_1^n x_i \left(\frac{1}{PM_i} \right)} = \frac{0.12 \left(\frac{1}{78} \right)}{0.12 \left(\frac{1}{78} \right) + 0.18 \left(\frac{1}{92} \right) + 0.10 \left(\frac{1}{106} \right) + 0.59 \left(\frac{1}{104} \right) + 0.01 \left(\frac{1}{100} \right)} = 0.1506$$

Se hace lo mismo con el resto de los componentes, después se calcula la presión de vapor (real) de cada componente con la ecuación de Antoine, las constantes correspondientes (A, B y C) al componente y la temperatura en grados kelvin (T) para el caso del benceno se tiene:

$$Pv_i = 100e^{A_i - B_i / (T + C_i)} = 100e^{9.28069 - 2788.507 / (298 + (-52.36))} = 12.6020 \text{ kPa}$$

Para este ejemplo supóngase que 25°C representa adecuadamente las condiciones de evaporación observados en la fuente, esta temperatura se tiene que determinar adecuadamente en un caso real.

Se hace lo mismo con el resto de los componentes, con los resultados anteriores se calcula la presión parcial de cada componente para el caso del benceno el cálculo es:

$$Pp_i = X_i Pv_i = 0.1506 * 12.6020 \text{ kPa} = 1.8986 \text{ kPa}$$

Se hace lo mismo para obtener las otras presiones parciales de los otros componentes para que al sumarlos se obtenga la presión de vapor de la mezcla (Pv_T), que es de 3.2338 kPa. Ahora, suponiendo una mezcla ideal, las fracciones mol del gas corresponden a las fracciones de las diferentes presiones parciales respecto a la presión de vapor de la mezcla, para el caso del benceno el cálculo es:

$$Y_i = \frac{Pp_i}{Pv_T} = \frac{1.8986 \text{ kPa}}{3.2338 \text{ kPa}} = 0.5871$$

Se hace lo mismo para el resto de los componentes. Para calcular el peso molecular promedio (PM_{pro} de la mezcla (el vapor), se suman los productos de la multiplicación del peso molecular de cada componente por la fracción mol en el vapor de este mismo, el resultado es 86.0589.

Si la emisión total anual de toda la línea que maneja la corriente del ejemplo es de 1803kg/año (supuesta para este ejemplo), calculada a partir de algún otro método de estimación de COVs totales (como los explicados en otros ejemplos), entonces la cantidad de moles se obtiene al dividir esta cantidad entre el PM_{pro} antes calculado, siendo el resultado de 20.95, finalmente para estimar la emisión por componente se multiplica la fracción mol del gas por el PM de la especie por la emisión total en kgmol, para el caso del benceno es:

$$E_{ben} = f_i PM_i E_{TOT} = (0.5871)(78) \left(20.95 \frac{\text{kgmol}}{\text{año}} \right) = 959.44 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Los cálculos anteriormente referidos se pueden hacer con facilidad en una hoja de cálculo como la que se presenta a continuación, en ella se aprecian todos los resultados.

Componente	x (frac peso liq)	X (frac mol liq)	Pv (kPa)	Pp (kPa)	Y (frac mol gas)	PM avg	Em (kg/año)
Benceno	0.12	0.150660344	12.6020	1.8986	0.5871	45.7949	959.44
Tolueno	0.18	0.191600655	3.7618	0.7208	0.2229	20.5054	429.60
Etil Benceno	0.1	0.09238606	1.2567	0.1161	0.0359	3.8057	79.73
Estireno	0.59	0.555560019	0.7903	0.4391	0.1358	14.1209	295.84
heptano	0.01	0.009792922	6.0498	0.0592	0.0183	1.8320	38.38
Total	1	1	24.4606	3.2338	1.0000	86.0589	1,803.00
	COVs tot =	1,803.00 Kg/año derivados solamente del manejo					
	COVs tot =	20.95 kgmol/año					

Figura 55. Imagen de la hoja de cálculo usada para resolver el cálculo de estimaciones de emisiones fugitivas con composición diferente a la del fluido de la línea origen

Ahora se compara la emisión de benceno y estireno con el umbral de emisión, (1,000kg/año), suponiendo que esta sea la única fuente de estos contaminantes y no se alcanza a rebasar éste, se reportan en la tabla 2.3 en “otros”.

Nótese como la fracción mol de benceno en el gas es significativamente mayor que la correspondiente en el líquido, mientras que el caso del estireno es contrario, en estos casos es evidente que no se puede suponer que la concentración de la corriente que maneja la fuente es igual a la emisión de hidrocarburos a la atmósfera.

Registro de descargas (emisiones) a cuerpos de agua y transferencias de contaminantes en el agua

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

En esta Sección se reporta el consumo o aprovechamiento de agua y los contaminantes que se emiten o transfieren a ésta. Los cálculos y/o actividades que deben realizarse antes o durante la elaboración de la COA son:

- Cálculo del volumen de aprovechamiento de agua de proceso y de servicios auxiliares,
- Determinación de puntos de descarga de agua residual de todo el establecimiento,
- Identificación del destino del agua residual,
- Determinaciones de los volúmenes de todos los puntos de descarga,
- Identificación de los parámetros que se miden, y los que se deben medir, en cada descarga,
- Cálculo de las emisiones y transferencias anuales de contaminantes de las descargas de aguas residuales.

Notas

1. Para el caso de descargas de aguas de desecho al alcantarillado municipal, el reporte se hace para la entidad federativa correspondiente, cuando dicha entidad federativa recopile o solicite esta información, de no ser así, se tiene que hacer el reporte a la federación.
2. Para las empresas que captan agua de lluvia y la utilicen, deberán de manifestarlo en la tabla 3.1 como “otra” fuente de extracción para ser considerado en el balance de aguas de la empresa.
3. Si el agua de lluvia captada se mezcla con algún material contaminante o con corrientes de agua de desecho y/o con aguas de proceso, se deberá incluir en el balance del agua y reportarse la descarga en la tabla 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3.

Para elaborar esta sección la información requerida se puede obtener de los siguientes documentos:

Recuadro E. Información requerida para reportar la Sección III de la COA

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Tabla 3.1 Aprovechamiento	
Información que se solicita: fuentes de extracción de agua, número de título de concesión o asignación, región hidrológica, aprovechamiento anual	
Documentos de soporte y referencias: título de concesión o asignación de la fuente de extracción o abastecimiento de agua (CNA-01-003, CNA-01-008 o CNA-01-010), Contrato de abastecimiento de agua con el municipio o la delegación, recibo/factura del servicio de abastecimiento de agua.	
<ul style="list-style-type: none"> • Elección incorrecta de la región hidrológica de acuerdo a la ubicación del establecimiento • Selección errónea de unidades 	Ejemplo 3.1 Registro y cálculo de consumos de agua

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Tabla 3.2.1 Descargas a bienes nacionales (emisión) y al alcantarillado (transferencias)	
Información que se solicita: tipo de descarga número de la descarga, procedencia de la descarga, destino de la descarga, nombre del cuerpo receptor de agua nacional, región hidrológica, tratamiento anual dentro del establecimiento	
Documentos de soporte y referencias: para emisión (descarga a cuerpo de aguas nacionales): permiso de descarga de aguas residuales (CNA-01-001), condiciones de descarga, gastos volumétricos de agua tratada; para transferencia (descarga al alcantarillado), permiso de descarga, gastos volumétricos de agua tratada.	
Reporte de descargas al alcantarillado como emisión, siendo estas transferencias	Ejemplo 3.2.1 Registro y cálculo de volúmenes de las descargas de agua
Tabla 3.2.2 Volumen total anual de descargas de aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales	
Información que se solicita: volumen total anual de descargas de aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales	
Documentos de soporte y referencias: Gastos volumétricos de las descargas de aguas residuales sólo cuando se descarga a aguas nacionales	
<ul style="list-style-type: none"> • El volumen total de descarga no corresponde a la suma de descargas consideradas como emisiones • Descargas reportadas en unidades diferentes a metros cúbicos, lo que magnifica el valor de la descarga 	Ver abajo en este recuadro, la información para la tabla 3.2.3 de la COA
Tabla 3.2.3 Emisiones y transferencias anuales de las descargas de aguas residuales	
Información que se solicita: parámetro, volumen, concentración y emisión de cada descarga emisión total anual	
Documentos de soporte y referencias: de descargas que se emiten; reportes trimestrales que incluyen gastos volumétricos, estudios de monitoreos de las aguas residuales, presentados a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), gastos volumétricos de las descargas de aguas residuales. De descargas que se transfieren: declaraciones trimestrales y anuales que presentan en las oficinas autorizadas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), monitoreos de descargas de aguas residuales, gastos volumétricos de las descargas de aguas residuales.	
<ul style="list-style-type: none"> • El valor de la descarga no corresponde a las unidades de volumen (litros/año), concentración de cada contaminante (mg/litro) y emisión de cada contaminante (mg/año) • Omisión del reporte de parámetros normados para algunas descargas reportadas en la tabla 3.2.1 • Confusión en el reporte entre concentración y emisión • Error en el cálculo de emisión para cada contaminante • No se suman las emisiones de cada contaminante de todas las descargas, para obtener la emisión total anual • Cálculo incorrecto en la conversión de unidades al momento de reportar la emisión total anual 	<p>Metodología general 3.2.2 para el reporte de la información en las diferentes tablas del formato de la COA</p> <p>Criterios para el reporte de contaminantes en descargas de agua residuales cuando se tienen valores por debajo del límite de detección</p> <p>Algoritmo 3.2.3-1 Cálculo del promedio de concentraciones por mediciones directas</p> <p>Ejemplo 3.2.3-1a Cálculo del promedio de concentraciones por mediciones directas</p> <p>Figura 56 Imagen de una hoja de un estudio de caracterización de aguas residuales. (parámetros de la NOM-002-SEMARNAT-1996)</p> <p>Figura 57 Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora (sugerida) para el registro de contaminantes normados presentes en las descargas de agua residual y cálculo de los promedios de concentraciones medidas.</p> <p>Ejemplo 3.2.3-1b Cálculo de la emisión del contaminante a partir de los promedios de la concentración de cada uno</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	Ejemplo 3.2.3-2 Balance de materiales en contaminantes presentes en agua de entrada vs agua de salida

Metodologías y memorias de cálculo

Tabla 3.1. Aprovechamiento o uso de agua

En esta tabla se tiene que incluir cuánta agua se tomó de cada fuente (pozos, red de agua, etc.). Para obtener este dato, por lo general es suficiente con sumar los consumos parciales cuidando las unidades. Se sugiere llevar una hoja de cálculo en donde se pueda registrar adecuadamente el agua que se consume por tipo de fuente, de preferencia en metros cúbicos.

Ejemplo 3.1. Registro y cálculo de consumos de agua

Para una empresa del sector, se calcula el consumo de agua partiendo de los pagos de los consumos tomados de la red de suministro, los volúmenes de extracción de agua subterránea y superficial, la siguiente figura resume la información de la empresa.

Período de tiempo	Superficial m3	Subterránea m3	Red m3
enero	1,363		246
febrero	1,556		281
marzo	1,473		285
1er trimestre	4,392	0	812
2do trimestre	3,465	16,721	865
3er trimestre	3,753	13,422	722
4to trimestre	3,442	14,234	852
Totales	15,052.00	44,377.00	4,063.00

Figura 56. Imagen de la hoja de cálculo usada para recopilar la información de consumos de agua del ejemplo de cálculo de éstos. El resultado es la suma en cada caso.

Nota: La fila del 1er trimestre es la suma de los consumos por meses, se presenta así porque en algunos casos se tienen notas, facturas, permisos o mediciones de consumos por meses.

Para los datos en litros se hizo la conversión a metros cúbicos (dividir entre 1,000), y el resto fue sumar cada consumo.

Apartado 3.2. Descarga de aguas residuales

Tabla 3.2.1. Descarga a cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales (emisión) y alcantarillado (transferencia)

En la presente, se debe capturar la información que permita identificar en donde se realizan las descargas de agua residual, y en función de esto, definir si se trata de emisiones (cuando se envían a aguas o bienes nacionales) y/o transferencias (cuando se envían al alcantarillado); así como el tipo de tratamiento recibido y la cantidad de agua tratada dentro del establecimiento.

Para calcular las cantidades a reportar, la metodología más usada es la de registrar y sumar los volúmenes de agua tratada a lo largo del tiempo (un periodo anual de actividades), apoyándose en documentos y mediciones sobre las mismas.

Ejemplo 3.2-1. Registro y cálculo de volúmenes de las descargas de agua

Partiendo de la información de pago de derechos de descargas de aguas residuales que se emiten (para riego) de una empresa del sector, de las descargas a un cuerpo superficial y del medidor de descargas de aguas residuales que se transfieren (al alcantarillado), se construyó la siguiente hoja de cálculo que se aprecia en la siguiente figura.

Agua para Riego					
Trimestre	1 ^{ero}	2 ^{do}	3 ^{ero}	4 ^{to}	Total anual
Descarga (m ³)	152	201	110	114	577

Agua descargada a un cuerpo superficial de agua						
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Descarga (m ³)	130	134	121	98	77	88
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Descarga (m ³)	143	155	67	75	113	131
Tota	1,332					

Agua descargada a las alcantarillas						
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Descarga (m ³)	119	101	88	73	64	69
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Descarga (m ³)	77	80	45	65	70	75
Tota	926					

Figura 57. Imagen de la hoja de cálculo usada para el cálculo de los volúmenes de descargas de agua

Los totales corresponden a la suma de las descargas y transferencias de cada

periodo de tiempo, se cuidó que los datos ingresados en la hoja cálculo tuvieran las mismas unidades.

Tabla 3.2.2. Volumen total anual de descargas de aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales

Tabla 3.2.3. Emisiones y transferencias anuales de las descargas de aguas residuales

En estas tablas, se tiene que capturar la información que identifica los volúmenes de las descargas y contaminantes presentes en las descargas de agua residual, los cuales se emiten (a aguas o bienes nacionales) o se transfieren (al alcantarillado).

Para obtener el requerimiento de la tabla 3.2.2, el volumen total anual de descargas debe de corresponder a la suma los volúmenes de agua residual, pero sólo de las descargas que se vertieron en cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales en un periodo anual de actividades, para ello, los documentos y mediciones sobre las mismas, son la fuente principal de información.

Para poder obtener el volumen de cada descarga, requerido por la tabla 3.2.3 se tienen que estimar básicamente igual que para la tabla 3.2.1. Para poder calcular la emisión o transferencia de contaminantes presentes en el agua, hay que considerar que éstas podrían reportarse en la tabla 5.2 por lo que se debe de hacer la misma consideración que se expuso para la tabla 2.3, misma que se muestra a continuación.

Metodología general 3.2.2. Reporte de la información en las diferentes tablas del formato de la COA

Dada la estructura de la COA es importante saber en donde reportar la información, esta metodología es básicamente la misma que la 2.3, se sugiere revisarla junto con la 5.2 para tener más claridad sobre este importante aspecto del reporte de la COA.

El resto de los algoritmos y ejemplos presentes para esta tabla, apoyan en la elaboración de los cálculos que es necesario hacer antes de evaluar en dónde reportar la información.

Por lo general, en el cálculo de emisiones y transferencia de contaminantes presentes en el agua, se parte de mediciones directas, mismas que en ocasiones reportan valores por debajo del límite de detección (del método analítico de laboratorio), por lo que la SEMARNAT ha establecido criterios al respecto, mostrados a continuación. Posteriormente se muestran los ejemplos y algoritmos de cálculo relacionados con la medición directa, aunque también pueden hacerse por cualquier otra metodología (modelos matemáticos, balance de materia, factores de emisión, etc.) siempre y cuando esté justificado.

Criterios para el reporte de contaminantes en descargas de agua residuales cuando se tienen valores por debajo del límite de detección

Para estimar las emisiones al agua de contaminantes que presentan valores por debajo del límite de detección en los monitoreos realizados, el establecimiento debe usar un juicio razonable sobre la presencia y cantidad de contaminante, basado en la mejor información disponible. Una señal de que la cantidad de químico está por debajo del límite de detección no es equivalente a afirmar que el producto químico no está presente.

Se consideran los siguientes criterios para el reporte de contaminantes en descargas de aguas residuales:

- a) Si todos los monitoreos para una sustancia química están por debajo del límite de detección y sin embargo se tiene conocimiento de que el químico está presente, esto es cuando el establecimiento tiene dentro de sus insumos la sustancia de referencia o esta se produce o maneja dentro del proceso, deberá emplearse y reportarse una concentración equivalente a la mitad del límite de detección.
- b) Si todos los monitoreos para una sustancia química reportan un valor por debajo del límite de detección del método analítico y no existe ninguna posible fuente de la sustancia química en el proceso, se podrá emplear un valor de cero para el reporte y estimación de las emisiones.
- c) Si un establecimiento genera una descarga de agua residual, la cual a su vez proviene de una corriente de alimentación al establecimiento y de acuerdo a los muestreos realizados por un laboratorio acreditado esta alimentación contiene de fondo una concentración de un contaminante. El establecimiento sujeto a reporte de la COA deberá estimar y reportar las emisiones considerando la contribución del contaminante generada por sus operaciones. El establecimiento deberá presentar los resultados de los monitoreos en formato impreso ante la SEMARNAT en conjunto con su COA, así como las memorias de cálculo empleadas en la estimación de las emisiones.
- d) Si los monitoreos de una descarga de agua residual cuentan con al menos un valor de concentración por encima del límite de detección para el contaminante a reportar. En el cálculo del valor promedio de la concentración del contaminantes, deberá considerarse para los valores que se reportaron por debajo del límite de detección un valor de concentración equivalente al límite de detección y para los valores por encima del límite de detección deberá emplearse el valor numérico reportado en el monitoreo.

Algoritmo 3.2.3-1. Cálculo del promedio de concentraciones por mediciones directas

Dado que las normas en materia de agua piden una serie de parámetros ya incluidos

en la COA, cada empresa tendrá que tomar muestras de sus descargas (transferencias o emisiones), para hacer determinaciones de cada parámetro (que aplique a su caso), ya que la concentración a reportar en la COA debe ser el promedio aritmético de las concentraciones determinadas en el período de reporte. Este algoritmo, corresponde al cálculo de un promedio aritmético común (igual que el usado para el requerimiento de tabla 2.2).

Esta metodología corresponde a un promedio aritmético común:

1. Tomar la información del laboratorio o estudio de aguas residuales de la empresa, para auxiliarse en el cálculo, se puede utilizar una hoja de cálculo simple con los campos adecuados para la tabla 3.2.3.
2. Puesto que el programa (software de reporte de la COA) solo pide el promedio (no los monitoreos), solo se tiene que sumar cada medición y dividir el total entre el número de mediciones, cuidando que la información corresponda al punto reportado y que las unidades sean las mismas.

Ejemplo 3.2.3-1a. Cálculo del promedio de concentraciones por mediciones directas

Para calcular los promedios de mediciones que se necesita ingresar a la tabla 3.2.3 se parte de la información de los estudios de transferencias (para este caso). Supóngase una empresa del sector, cuenta con el siguiente análisis de laboratorio y éste es el adecuado para tomar la información.

Análisis de descargas de aguas		
Dirección del laboratorio que las realizó		
Nombre de la empresa que contrató al laboratorio para realizar los análisis de sus aguas residuales		
Resumen de Resultados		
Descarga	A1	Maximos Permisibles NOM - 002
pH	7,34	DE 5,5 A 10,0
Temperatura (°C)	26,7	40°C
Conductividad (mmhos/cm)	1 223	N.A.
Materia Flotante	Ausencia	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	0,6	7,5
Grasas y Aceites (mg/l)	26,13	75,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	163,47	150,0
Sólidos Suspensivos Totales (mg/l)	80	125,0
Arsénico Total (mg/l)	<0,003 7	0,75
Cadmio Total (mg/l)	<0,009	0,75
Cianuro (mg/l)	<0,006	1,5
Cobre Total (mg/l)	0,073 5	15,0
Cromo Hexavalente (mg/l)	<0,031 8	0,75
Mercurio Total (mg/l)	<0,002 4	0,015
Níquel Total (mg/l)	<0,04	6,0
Plomo Total (mg/l)	<0,222	1,5
Zinc Total (mg/l)	0,678 4	9,0

Figura 58. Imagen de una hoja de un estudio de caracterización de aguas residuales

En la presente se observa que se determinan las concentraciones de los parámetros pedidos por la NOM-002-SEMARNAT-1996.

La información presente en un estudio como éste, se ha concentrado en una hoja de cálculo que incluye las operaciones, misma que se muestra en la figura a

continuación.

Descarga	Norma app	Parámetro normado	Valor max perm	unidad	Monitoreos					
					1	2	3	4	Promedio	unidad
A1	NOM-002	pH	5.5 a 10		7.34	7.55	6.81	7.33	7.2575	
A1	NOM-002	Conductividad	NA	mmhos/cm	1223	1211	1145		1193	mmhos/cm
A1	NOM-002	Temp	40	C	26.7	27	26.3		26.666667	C
A1	NOM-002	Materia Flot	Ausente	mg/l	0	0			0	mg/l
A1	NOM-002	Sólidos Sed	7.5	mg/l	0.6	0.2	0.3		0.3666667	mg/l
A1	NOM-002	Grasas y aceites	75	mg/l	26.13	24.8			25.465	mg/l
A1	NOM-002	DBO	150	mg/l	67.55	59.45			63.5	mg/l
A1	NOM-002	SST	125	mg/l	83	87	85		85	mg/l
A1	NOM-002	As total	0.75	mg/l	0.21	0.12	0.15	0.13	0.1525	mg/l

Figura 59. Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora (sugerida) para el registro de contaminantes normados presentes en las descargas de agua residual y cálculo de los promedios de concentraciones medidas

Las operaciones son automáticas, para el caso del As total el promedio corresponde a $(0.21+0.12+0.15+0.13)/4=0.1525\text{mg/l}$.

Nota: El ejemplo de certificado de análisis mostrado contiene cantidades en el orden de magnitud de los estudios reales.

Ejemplo 3.2.3-1b. Cálculo de la emisión del contaminante a partir de los promedios de la concentración de cada uno

Una vez que se tienen las concentraciones promedio de cada contaminante o parámetro, se calcula la emisión de esa descarga en particular, para esto es necesario ingresar el volumen de dicha descarga en litros por año, (verificar que este sea correspondiente con el dato ingresado en la tabla 3.2.1) y multiplicarlo por la concentración en mg/L.

Una vez obtenida la emisión por cada descarga, se suman las contribuciones por parámetro o contaminante de todas las descargas para obtener la emisión total anual (al agua) de dicho contaminante.

Tomando la información del ejemplo anterior, la concentración del arsénico fue de 0.1525mg/L , si el flujo de la descarga en el año de reporte fue de $1,332\text{m}^3$, la emisión de As de esa descarga fue de $(0.1525\text{mg/L})(1,332\text{m}^3/\text{año})(1000\text{L}/\text{m}^3)=203,130\text{mg}$ emitidos al agua en el periodo correspondiente. Se hace lo mismo para el resto de los contaminantes.

Ahora supóngase que se tienen otras 2 descargas con volúmenes de $13,500\text{m}^3$ y $30,000\text{m}^3$ y con concentraciones promedio de As de 0.1223mg/L y 0.0755mg/L . El cálculo es igual para cada caso, siendo la emisión de cada una de estas descargas de $1,651,050\text{mg/año}$ y $2,265,000\text{mg/año}$. Por lo tanto, la emisión total al agua de la empresa es la suma, que corresponde a $4,119,180\text{mg/año}$. Puesto que se rebasa el umbral de emisión (de 1kg/año) para esta sustancia RETC, la emisión se debe de

reportar en la tabla 5.2, en caso contrario se reporta en la tabla 3.2.3.

A través del software de la COA solo se necesita capturar el volumen por descarga y la concentración promedio por cada contaminante. Realizar el cálculo (de la emisión) por otro medio (una hoja de cálculo por ejemplo) es útil en caso de un parámetro RETC (por ejemplo metales y sus compuestos) para poder decidir si se reporta en esta tabla o en la 5.2, de igual forma como se hizo con aquellos contaminantes RETC de la tabla 2.3.

Balance de materiales

En muchas plantas, se puede dar el caso de tomar el agua para enfriar algún equipo y posteriormente, devolverla a la fuente con unos grados más de temperatura y probablemente con una concentración de contaminantes ligeramente diferente a la del agua de entrada, en parte por la adición de contaminantes durante el uso de esta agua y en otra por la disminución del volumen de ésta por alguna causa como pérdidas por evaporación.

Nota: el algoritmo general para realizar balances de materiales es el mismo que el mostrado para la tabla 2.3.

Ejemplo 3.2.3-2. Balance de materiales en contaminantes presentes en agua de entrada vs agua de salida

En una empresa del sector, se hizo un balance de materiales para determinar, a partir de los análisis de laboratorio del agua de entrada y de salida, la cantidad de contaminantes agregados durante su uso. En la siguiente figura, se muestra un fragmento de una hoja de cálculo con las concentraciones, los flujos y los cálculos ya realizados.

	Entrada		Salida		Diferencia	Umbral mg
	Vol (L/año)	6,345,675	Vol (L/año)	5,711,108		
Contaminante	Conc. mg/L	mg/año	Conc. mg/L	Emi mg/año		
Temp	20.00		28.00		8	
Grasas y aceites	0.000000	0	0.000018	103	103	
As total	0.430000	2,728,640	0.623301	3,559,738	831,097	1,000,000.00
Cd total	0.560000	3,553,578	0.657322	3,754,039	200,461	1,000,000.00
CN total	1.210000	7,678,267	1.387742	7,925,546	247,279	1,000,000.00
Cu total	3.550000	22,527,146	3.959794	22,614,810	87,664	1,000,000.00
Cr hexa	0.000550	3,490	0.000767	4,381	891	1,000,000.00
Hg total	0.000400	2,538	0.000512	2,926	388	1,000,000.00
Ni total	2.790000	17,704,433	3.119963	17,818,443	114,010	1,000,000.00
Pb total	0.880000	5,584,194	0.987217	5,638,100	53,906	1,000,000.00
Zn total	2.340000	14,848,880	2.612371	14,919,533	70,654	1,000,000.00

Figura 60. Imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora para recopilación de

información y para el cálculo del balance de materiales contaminantes presentes en el agua

Las mediciones de las concentraciones a la entrada y salida provienen del laboratorio, los flujos de entrada y salida fueron determinados por cálculos de ingeniería que se hacen considerando lo siguiente: conociendo las características del equipo en donde se utilizó el agua de enfriamiento, se calcula la carga térmica transferida al agua y con la diferencia de temperaturas de ésta, se estima el volumen de agua de entrada, para el volumen del agua de salida se estima la cantidad de pérdidas por evaporación.

La estimación de la masa de cada contaminante es la multiplicación de los flujos por las concentraciones. Una vez que se tienen los resultados de la masa a la entrada y la salida, se restan (salida menos entrada) y se determina la cantidad de contaminantes “aportados” por el proceso. Si esta diferencia es mayor al umbral, la información se carga en la tabla 5.2, y no en la tabla 3.2.3, para este caso ningún contaminante se reporta en la tabla 5.2.

Nota 2: Las diferencias que se obtienen pueden deberse a pequeños aportes del proceso pero también al margen de error de los métodos de medición.

Nota 3: En un caso real, el balance tiene que ser tan complejo como se necesite, considerando las unidades, etapas, salidas y entradas propias de una instalación. Este ejemplo supone un uso simple del agua (tal vez una etapa de lavado o agua de enfriamiento de un solo paso).

Nota 4: Supóngase, solo para este ejemplo, que no existen estos mismos contaminantes en emisiones al aire, ni en residuos peligrosos, ni hubo operación anormal (paros, arranques, accidentes) que los generara (si no fuera el caso, entonces se tendrían que sumar al análisis estos datos para determinar en donde se reportarían, como lo indica la metodología 5.2 y 2.3 de este documento).

Registro de la generación, manejo y transferencia de Residuos Peligrosos

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

En esta sección se reportan los Residuos Peligrosos Generados, su almacenamiento y manejo. Para la elaboración de esta sección los cálculos y/o actividades que deben realizarse antes o durante la elaboración de la COA son:

- Conocer cuáles son los residuos peligrosos que genera el establecimiento,
- Conocer la lista de residuos peligrosos registrados ante la SEMARNAT,
- Determinar si durante el año de reporte, se generaron nuevos residuos peligrosos,
- Calcular la cantidad de residuos generados y almacenados durante el año de reporte (bitácora del almacén temporal de residuos peligrosos),
- Calcular la transferencia de residuos peligrosos durante el año de reporte (manifiestos de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos),
- Conocer el destino final de los residuos peligrosos transferidos por el establecimiento,
- Para el caso de las empresas que utilizan los servicios de centros de acopio, conocer el nombre del segundo transportista (quien lleva los residuos del centro de acopio al destino final) y el destino final de los residuos peligrosos transferidos por el establecimiento.

Nota: Para las empresas del sector de industria metalúrgica a las que les aplique el artículo 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), se deben de reportar en la tabla 4.1 como “otros” utilizando la clave “O”.

Para la correcta elaboración de esta sección, es importante recordar que existen varias tablas en las Normas Oficiales Mexicanas que clasifican las diferentes categorías de residuos peligrosos: como se puede ver en el siguiente recuadro:

Recuadro 36. Catálogo de claves de residuos en el instructivo para la elaboración de la COA

Tabla	Contenido de la tabla o listado
4.5	Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Residuos Peligrosos y Suelos Contaminados.
4.9a	Clasificación de Residuos Peligrosos NOM-052-SEMARNAT-2005
	Listado 1 Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica
	Listado 2 Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica
	Listado 3 Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (tóxicos agudos)
	Listado 4 Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (tóxicos crónicos)
	Listado 5 Clasificación por tipo de residuos, sujetos a condiciones particulares de manejo

Tabla	Contenido de la tabla o listado
4.9b	Residuos peligrosos y productos usados, caducos, retirados del comercio o de desecho, sujetos a planes de manejo
4.9c	Clave del tipo genérico para la identificación del residuo peligroso
4.10	Procesos típicos de reutilización, reciclado, co-procesamiento, tratamiento, incineración y/o disposición final de residuos
4.11	Clave y clasificación de suelos a tratar
4.12	Clave y clasificación de los procesos de tratamiento de suelos contaminados

Además, la principal fuente de información son los documentos tramitados en materia de residuos peligrosos y/o sitios contaminados que se muestran en el siguiente recuadro:

Recuadro F. Información requerida para reportar la Sección IV de la COA

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Tabla 4.1 Registro de generación y transferencia de Residuos Peligrosos	
Información que se solicita: nombre y número de registro como generador, identificación del residuo, generación anual del residuo, área de generación, modalidad de manejo, plan de manejo, número de autorización o actividades de las condiciones particulares de manejo, transferencia de residuos peligrosos generados	
Documentos de soporte y referencias: registro como generador de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-017-A/B), NOM-052-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos, bitácoras de residuos peligrosos y sitios contaminados (SEMARNAT-07-027-A/C/D) y manifiestos de registro de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032)	
<ul style="list-style-type: none"> • Reportan las cantidades de generación y transferencia de residuos en unidades diferentes a las de masa • Incoherencia en la trazabilidad de los residuos generados: si se transfirieron, están almacenados o se manejaron dentro del establecimiento • Las empresas transportistas o de destino final no cuentan con autorización de la SEMARNAT o las autorizaciones no están vigentes 	<p>Figura 59 Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora de registro de la generación de residuos peligrosos.</p> <p>Estimación de la masa del residuo mediante el pesado directo, por promedios, por volumen</p> <p>Ejemplo 4.1-1 Registro y balance de entradas y salidas de residuos peligrosos, para determinar la cantidad de transferencia anual de una empresa generadora</p>
Tabla 4.2 almacenamiento de residuos peligrosos dentro del establecimiento	
Información que se solicita: número de almacén, tipo de almacenamiento, características del almacén, residuos peligrosos almacenados, tiempo máximo de almacenamiento	
Documentos de soporte y referencias: bitácora de residuos peligrosos, manifiestos de registro de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), características físicas de la instalación para el almacenamiento de residuos peligrosos. Cuando aplique: Oficio de prórroga para el almacenamiento de residuos peligrosos	
El periodo de almacenamiento es mayor a 3 meses y no existe documento oficial de prórroga de almacenamiento	Ejemplo 4.2-1 Registro de información del almacén de RPs y cálculo de días
Tabla 4.3 manejo de residuos peligrosos	
Información que se solicita: actividad que realiza el establecimiento, número de identificación de la empresa generadora de residuos peligrosos, identificación del residuo, nombre y número de la autorización del transportista, modalidad de manejo, total manejado, nombre y No. de autorización de la empresa de destino final	
Documentos de soporte y referencias: Manifiestos de registro de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), bitácora de residuos peligrosos, manifiestos de registro	

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), autorizaciones de manejo de residuos vigentes	
<ul style="list-style-type: none"> • Los números de autorización especificados por el establecimiento no existen o no están vigentes. • El servicio que presta la empresa de manejo, no corresponde con el especificado en la autorización de la SEMARNAT 	<p>Figura 64 Hoja de cálculo usada como bitácora para la recopilación de información de manejo de residuos peligrosos de una empresa dedicada a tratar residuos de terceros</p> <p>Consideraciones especiales para el llenado de la tabla 4.3</p>
Tabla 4.4 Informe de atención a recomendaciones realizada a Planes de Manejo de Residuos Peligrosos	
Información que se solicita: recomendaciones, metas, indicadores, avance de metas, atención a las recomendaciones, justificación de acciones diferentes a las recomendaciones	
Documentos de soporte y referencias: plan de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-024-A/B/C/D), recomendaciones del plan de manejo, programa o acciones de cumplimiento de las recomendaciones	
<ul style="list-style-type: none"> • Hay omisión del seguimiento a las recomendaciones del plan de manejo • No se realizan las aclaraciones cuando no se da cumplimiento a las recomendaciones respectivas 	
Tabla 4.5 Tratamiento de suelos contaminados	
Información que se solicita: número de identificación de la empresa prestadora de servicio, ubicación del sitio contaminado y modalidad del tratamiento, clave del suelo a tratar, tipo de tratamiento, total de tratamiento, nombre y número de autorización del transportista, nombre y número de autorización del destino final	
Documentos de soporte y referencias: manifiestos de registro de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), bitácora de residuos peligrosos, manifiestos de registro de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), autorizaciones de manejo de suelos contaminados y materiales semejantes a suelos contaminados vigentes	
<ul style="list-style-type: none"> • Los números de autorización especificados por el establecimiento no existen o no están vigentes • El servicio que presta la empresa de manejo, no corresponde con el especificado en la autorización de la SEMARNAT 	

Metodologías de estimación y memorias de cálculo

Tabla 4.1. Registro de generación de residuos peligrosos

En esta tabla se captura la información referente a los residuos peligrosos generados en la empresa, ésta deberá de contratar a terceros autorizados por la SEMARNAT para manejarlos o transferirlos a otra empresa que los utilice como insumos dentro de un plan de manejo.

Las empresas generadoras que manejen sus RPs dentro de su establecimiento reportan la generación en la 4.1 y el manejo en la 4.3 solo cuando el manejo incluya

reciclaje y/o tratamiento, éstas no tienen número de autorización sino el número oficio, mismo que se captura en la parte superior de la tabla 4.3, (no en la columna que se observa a la derecha).

Cuando la empresa que maneja los residuos es parte de la misma empresa o consorcio pero está dada de alta con otra razón social, entonces, cada una reporta una COA, la empresa generadora reporta la tabla 4.1 y la tratadora la 4.1 y la 4.3.

Para el caso de las empresas tratadoras, en esta tabla deben de reportar los residuos que generen las actividades que éstas realicen, como pueden ser aquellos derivados del mantenimiento de sus instalaciones, los generados por sus procesos de tratamiento etc.

Para la estimación de las cantidades a reportar existen varias metodologías, generalmente las utilizadas son muy simples (pesado directo del RP, promedios de contenedores), aunque en estricto sentido se puede usar cualquiera (factores de emisión, balances de materiales, datos históricos, modelos matemáticos etc.), a continuación se presentan metodologías para los casos más comunes.

Recopilación de información

Para hacer esto, puede ser útil llevar una hoja de cálculo o de registro con la información solicitada en la tabla 4.1 de la COA (de ser necesario) como la siguiente:

Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		ID del residuo										Generación			# Autorización		
	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Clave del residuo	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M	Cantidad	Unidad		Forma de almacenamiento	Plan de manejo
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	29-Ene-09	23-May-09	L6			X				X				5,267	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-Feb-09	01-Ago-09	L6			X				X				5,453	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	20-Mar-09	22-Jul-09	L6			X				X				3,876	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	15-Abr-09	05-Sep-09	L6			X				X				3,799	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	22-Jun-09	03-Nov-09	L6			X				X				2,349	kg	CM	TQ5	NA

Figura 61. Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora de registro de la generación de residuos peligrosos. Nota: La información que se ve en la figura, corresponde a la compañía “Siderúrgica Nacional SA” que servirá en los ejemplos de esta Sección

Si se tienen varios lotes del mismo residuo, se puede hacer que la hoja de cálculo que los sume y/o haga las conversiones de unidades necesarias para que se tengan las cantidades totales listas para ingresarse al formato de la COA.

Estimación de la masa del residuo mediante el pesado directo

Se dan casos, en los que la empresa que maneja los residuos peligrosos, necesita del peso de éstos (muchas veces incluido el peso del contenedor) por lo que la empresa generadora o ambas realizan el pesado de todos los contenedores (tambos de 200 litros de capacidad por ejemplo), para este caso, solo es necesario consultar los certificados y documentos donde se registre esta información.

Estimación por promedios

Si se tienen varias unidades o contenedores de residuos peligrosos y no se pueden pesar todas las unidades, se toma una muestra representativa del total y se pesa cada uno de los contenedores, la suma total se divide entre el número de contenedores y el resultado se multiplica por el total de contenedores.

Estimación por volumen (para líquidos)

Si se conoce la densidad del residuo (por ejemplo, aceite hidráulico) y el volumen del contenedor, se calcula la masa multiplicando estas dos cantidades, adicionalmente se puede conocer el peso del contenedor vacío el que debe de sumarse, una vez conocido el peso estimado de cada contenedor, se multiplica por el número de contenedores para obtener la masa total del residuo.

⚠ Para registrar la modalidad de manejo, se deben de tener en cuenta los siguientes términos con la finalidad de evitar confusiones:

Disposición final es la acción de depositar o confinar permanentemente los residuos en sitios e instalaciones, cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos. La disposición final de residuos peligrosos puede realizarse en confinamiento controlado y/o confinamiento en formaciones geológicamente estables.

Por otra parte el reciclaje es la transformación de los residuos, a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos; mientras que co-procesamiento es la integración ambientalmente segura de los residuos generados por una industria o fuente conocida, como insumo a otro proceso productivo.

Tabla 4.1. Registro de transferencia de residuos peligrosos

En esta segunda parte de la tabla 4.1 se debe de identificar claramente qué cantidad y tipo de residuos se generaron en qué año y la cantidad de éstos que salieron en el año de reporte, para hacerlo se tiene que hacer un balance de materiales apoyándose en las fechas de entrada y salida de residuos peligrosos. No olvidar que aquí se anotan los residuos transferidos que se generaron dentro de la instalación.

A continuación se presenta un ejemplo del balance mencionado, Puesto que éste es igual tanto para empresas generadoras, generadoras que tratan sus propios residuos y tratadoras (o prestadoras de servicios de manejo) que tratan o transfieren residuos que ellas mismas generan, el ejemplo presente es útil y sirve de contexto al resto de los de esta sección.

Ejemplo 4.1-1. Registro y balance de entradas y salidas de residuos peligrosos, para determinar la cantidad de transferencia anual de una empresa generadora

En la siguiente hoja de cálculo se resume la información colectada del almacén de residuos peligrosos de RPs generados en la instalación de la empresa generadora (en este caso, la refinería “centenario”), así como el balance por año de entradas y salidas (parte de abajo) de la misma.

Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		ID del residuo											Generación			Plan de manejo	# Autorizacion Plan de Manejo
	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Clave del residuo	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M	Cantidad	Unidad	Forma de almacenamiento		
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	29-Ene-09	23-May-09	L6			X								5,267	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-Feb-09	01-Ago-09	L6			X								5,453	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	20-Mar-09	22-Jul-09	L6			X								3,876	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	15-Abr-09	05-Sep-09	L6			X								3,799	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	22-Jun-09	03-Nov-09	L6			X								2,349	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	30-Ago-09	10-Ene-10	L6			X								2,822	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	08-Sep-09	13-Feb-10	L6			X								4,098	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	27-Oct-09	02-Abr-10	L6			X								5,891	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	11-Dic-09	29-May-10	L6			X								4,889	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-Ene-10	03-Jul-10	L6			X								5,236	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	12-Feb-10	03-Dic-10	L6			X								5,679	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	12-Feb-10	31-Dic-10	L6			X								5,367	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-May-10	31-Dic-10	L6			X								5,278	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	07-Ago-10		L6			X								8,975	kg	CM	TQ5	NA
TOTALES																		
Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		ID del residuo											Generación			Plan de manejo	# Autorizacion Plan de Manejo
	Año de gen	Año de salida	Clave del residuo	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M	Cantidad	Unidad	Forma de almacenamiento		
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2009	2009	L6			X								20,744	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2009	2010	L6			X								17,700	kg	CM	TQ5	NA
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2010	2010	L6			X								21,560	kg	CM	TQ5	NA

Figura 62. Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora de registro de la generación de residuos peligrosos

Nota: La empresa “Siderúrgica Nacional SA” servirá en los ejemplos de esta sección.

En la parte de arriba se observan las entradas y salidas de un tipo de residuo peligroso, que para este caso son lodos aceitosos generados en la “Siderúrgica Nacional S.A.”, con la fecha correspondiente.

Para calcular el balance por año, se suman todos aquellos residuos que sean compatibles con el criterio de fechas (la hoja lo hace automáticamente en este caso), por ejemplo, para los residuos generados en el 2009 y transferidos ese mismo año solo se toman en cuenta los 5 primeros valores (obsérvese las fechas), es decir $5,267+5,453+3,876+3,799+2,349 = 20,744\text{kg}$, se hace lo mismo con los dos casos siguientes.

Si el año de reporte es el 2010, entonces de esta base de datos se toman para la COA los residuos transferidos en 2010 que se generaron en 2009 (17,700kg) y los residuos generados en 2010 que se transfirieron en 2010 (21,560kg).

El último lote de residuos no tiene fecha de salida porque todavía no salen del almacén, mismo que al ser transferido (en el 2011) se verá reflejado al reportar ese año en el 2012.

Nota: Al tener más de 6 meses en el almacén de RP, se debe contar con un permiso de la SEMARNAT para fines de este ejemplo.

Nótese como es que dos entradas de RPs tienen la misma fecha de entrada pero diferente fecha de salida, esto es porque un lote entró en la fecha 12-feb-10 pero solo una parte de éste salió el 3-dic-10 mientras que otra se quedó en el almacén.

La información de los transportistas, centros de acopio y empresa tratadora también se han incluido para este ejemplo, en la figura siguiente se muestran las celdas de la hoja de cálculo usada que contienen esta información.

Transferencia de los residuos						
Nombre y #Reg generador	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Nombre y No. Del transportista 1	Nombre y No del centro de acopio	Nombre y No del transportista 2	Nombre y No. De la empresa que maneja o exp los RPs
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	29-Ene-09	23-May-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-Feb-09	01-Ago-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	20-Mar-09	22-Jul-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	15-Abr-09	05-Sep-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	22-Jun-09	03-Nov-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	30-Ago-09	10-Ene-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	08-Sep-09	13-Feb-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	27-Oct-09	02-Abr-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	11-Dic-09	29-May-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-Ene-10	03-Jul-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	12-Feb-10	03-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	12-Feb-10	31-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	05-May-10	31-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	07-Ago-10					
TOTALES						
Transferencia de los residuos						
Nombre y #Reg generador	Año de gen	Año de salida	Nombre y No. Del transportista 1	Nombre y No del centro de acopio	Nombre y No del transportista 2	Nombre y No. De la empresa que maneja o exp los RPs
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2009	2009	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2009	2010	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
SIDERÚRGICA NACIONAL SA	2010	2010	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México

Figura 63. Imagen de la hoja de cálculo con la información de los transportistas, centro de acopio y empresa tratadora contratada por la empresa generadora de residuos “Siderúrgica Nacional SA” usada para estos ejemplos

Como se ve en el ejemplo, la empresa tratadora, contratada por la “Siderúrgica Nacional SA” para hacer el tratamiento de sus residuos es “TREPESA de México” la cual tiene que hacer consideraciones adicionales para reportar la generación de RPs y sus transferencias, estos aspectos se pueden ver en la guía RPs.

Tabla 4.2. Almacenamiento de residuos peligrosos dentro del establecimiento

En esta tabla se captura la información de las características del almacén (o almacenes) de residuos peligrosos de la empresa, apoyándose en los documentos adecuados o consultando al departamento o personal adecuado.

En la parte correspondiente al inventario de residuos se debe de reportar la cantidad máxima de cada residuo, generado en la instalación, que hubo en el año de reporte, sin incluir a aquellos que se recibieron de otros generadores (de ser el caso), así como el tiempo máximo que algún lote de cada residuo estuvo en el almacén.

El almacén físico puede ser el mismo para los RPs generados por la empresa que para aquellos generados por otras, dependiendo de criterios técnicos y logísticos, aunque el trámite para un almacén que guarde RPs de terceros es diferente al necesario solo para guardar RPs generados en la propia instalación. Esto con fundamento en el Artículo 80 de la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos y el Artículo 82 de su reglamento.

Ejemplo 4.2-1. Registro de información del almacén de RPs y cálculo de días

Lo primero es capturar la información que se pide para detallar las características de cada almacén temporal de RPs que se tenga en la instalación, para ello se puede utilizar una hoja de cálculo, en la siguiente figura se ve parte de una, utilizada como base de datos y para hacer cálculos necesarios.

días	ID del residuo		TIPO		Caract del almacén		
	Clave del residuo	# Alm	BT	I	Loc	VEN	ILM
22	L6	1	X		LA	VN	IN
23	L6	1	X		LA	VN	IN
7	L7	1	X		LA	VN	IN
14	L7	1	X		LA	VN	IN

Figura 64. Imagen de la hoja de cálculo usada como base de datos del almacén de RPs de la empresa generadora de residuos “Siderúrgica Nacional SA” usada para estos ejemplos

Posteriormente hay que ingresar la información sobre los lotes que cada almacén guarda, el programa de reporte de la COA lo despliega en otra pantalla al hacer click en el rectángulo de RPs almacenados (columna siguiente a la derecha de ILM) en la siguiente figura se muestra otro fragmento de la hoja de cálculo usada como base de datos, bitácora y para hacer los cálculos necesarios.

Identificación del generador	Fecha de Ingreso	Fecha de salida o	Días en el almacén	Oficio de prórroga	ID del residuo	Masa total del RP	U	Forma de almacenamiento
SIDERÚRGICA NAL SA	23-Jun-09	07-Jul-09	15		L6	400	ton	CM
SIDERÚRGICA NAL SA	05-May-09	06-May-09	2		L7	20	ton	CM

Figura 65. Imagen de la hoja de cálculo usada como base de datos del almacén de RPs de la empresa generadora de residuos “Siderúrgica Nacional SA” usada para estos

En la figura anterior, la identificación del generador que se ve es solo para resaltar, que solo se reporta en esta tabla (la 4.2 de la COA) aquellos residuos producidos por el establecimiento, las fechas de entrada y salida son para hacer el cálculo de los días en el almacén temporal, el oficio de prórroga es en caso de que el residuo tenga más de 6 meses almacenado (debe de incluir una fecha de prórroga), la identificación del residuo va de acuerdo a sus características y finalmente el volumen o masa que forma dicho residuo.

La información requerida en la tabla 4.2, constituye un complemento a la ingresada en la 4.1, por lo que se pueden obtener de una misma base de datos, de existir varios lotes iguales del mismo residuo, se pueden sumar previamente, tal y como se hizo en el ejemplo 4.1-1 para reportar aquí los residuos agrupados por tipo, para tal caso, el tiempo en el almacén será el del lote que duró más días en éste.

Para el reporte de la COA se pide que todo lo referente al manejo de RPs de terceros (empresas tratadoras, prestadoras de ese servicio) se incluya en la tabla 4.3, si una empresa trata sus propios RPs (generadora o tratadora) la generación va en la tabla 4.1 y en la 4.2 lo referente al almacén y el manejo del residuo en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Manejo de residuos peligrosos

Esta tabla la reportan empresas que manejan residuos peligrosos, ya sean tratadoras de RPs de terceros (la gran mayoría) o generadoras que manejan sus propios residuos o tratadoras que generan residuos a partir de sus procesos que son manejados (tratados, reciclados, etc.) por ella misma.

La forma de llenarla es muy similar a la de la tabla 4.1 pero identificando a la empresa que los generó, en la mayoría de los casos de los RPs reportados aquí, la empresa tratadora los recibe al prestar (a terceros) los servicios de recolección, transporte, acopio y/o manejo (coproceso, tratamiento, reciclado, reutilización, incineración, disposición final).

Recopilación de información

Para hacer esto, puede ser útil llevar una hoja de cálculo o de registro con la información solicitada en la tabla 4.3 de la COA (de ser necesario) como la siguiente:

# de autorización de la empresa tratadora de RPs	Identificación del generador	Nombre y No del transportista 2	Nombre y No. Del transportista 3	Nombre de la instalación receptora	Modalidad de manejo	Clave del metodo de	ID del residuo	Masa total del RP	U	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M
TREPESA de México pt1	TREPESA de México		TREPESA de México pt1	TREPESA de México pt8	Dispo final		RP7/55	10	ton				X	X					
TREPESA de México pt1	QUIMITEC SA de SL	Transportes AB	no aplica	no aplica	Red química	TQ5	LR1	9.71E+06	L	X	X		X						
TREPESA de México pt1	Pinturas INT	No aplica	no aplica	no aplica	Recuperación	TF7	S1, S2	22,567	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz del valle	No aplica	no aplica	no aplica	Ad. de metales	TQ2, TQ6	RP8/04	48,456	L	X	X		X						
TREPESA de México pt1	Automotriz del valle		no aplica	no aplica	Ad. de metales	TQ2, TQ6	RP8/04	48,456	L	X	X		X						
TREPESA de México pt1	TREPESA de México		no aplica	no aplica	Incineración	TTT1	RP4/20	394	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz de méxico	Transportes SA	TREPESA de México pt1	TREPESA de México pt6	Centrifugación	TF4, CP2	L6	5,267	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz de méxico	Transportes SA	no aplica	no aplica	Centrifugación	TF4, CP2	L6	3,876	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz de méxico	Transportes SA	no aplica	no aplica	Centrifugación	TF4, CP2	L6	5,453	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz de méxico	Transportes SA	no aplica	no aplica	Centrifugación	TF4, CP2	L6	3,799	kg										X
TREPESA de México pt1	Automotriz de méxico	Transportes SA	no aplica	no aplica	Centrifugación	TF4, CP2	L6	2,349	kg										X

Figura 66. Hoja de cálculo usada como bitácora para la recopilación de información de manejo de residuos peligrosos de una empresa dedicada a tratar residuos de terceros

En hoja de cálculo utilizada (figura anterior), que es parte de una base de datos (al menos para este ejemplo), está toda la información necesaria para cargar la tabla 4.3 correspondiente en el programa de reporte de la COA y algunos campos extra que también son de utilidad.

El transportista 2 es aquel que lleva los RPs a la empresa tratadora, el transportista 3 es aquel que, de existir, los lleva de la empresa tratadora a otra similar (por ejemplo por falla de la primera), la instalación receptora es aquella que recibe los RPs de la primera (la instalación receptora que a su vez los transfiere).

Otro detalle de la presente hoja de cálculo es que como también tiene información útil para reportar las tablas 4.1, 4.2, 5.4.2 y 5.5 por eso, algunas filas corresponden al mismo residuo, pero a diferente sustancia RETC contenida en él.

Consideraciones especiales para el llenado de la tabla 4.3

Puesto que ésta tiene algunos detalles que son importantes para una adecuada comunicación entre el tratador y la autoridad, en este caso la SEMARNAT, se detallan aquí algunos aspectos importantes de la captura de la información, para lo cual se utilizará la siguiente figura con una imagen de la tabla 4.3 del programa de reporte de la COA.

4.3 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

4.3 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS
 Esta tabla deberá ser elaborada solamente por empresas subcontratadas (prestadoras de servicios a las que les fueron transferidos residuos peligrosos para su recolección y transporte, acopio, reutilización, co-procesamiento, reciclado, tratamiento (incluye en pozos de inyección profunda), incineración y/o disposición final.

Recolección y Transporte Acopio Manejo

Buscar Refrescar

Modalidad de manejo: Recolección y transporte No. de autorización:

Nombre y Número de Registro como Generador (NRG)	Identificación del residuo						Nombre y número de autorización del transportista	Modalidad de manejo	Total manejado		Nombre y número de autorización de la empresa de destino final	
	Clave del residuo	Código de peligrosidad de residuos peligrosos							Cantidad	Unidad		
		C	R	E	T	Te						Tf

Guardar Nuevo renglón Eliminar Renglón Cancelar Cambios Cerrar Ventana

Figura 67. Imagen de la tabla 4.3 de la COA auxiliar en la explicación de la forma correcta de llenarla según el caso de cada empresa (tratadores de RPs de terceros, empresas que tratan sus propios RPs y tratadoras que transfieran RPs a otra)

1. Para el caso de los RPs de terceros que son manejados por la empresa prestadora de estos servicios, el “no de autorización”, campo 3 en la figura, es el único que se debe llenar, no el 11, puesto que se repite la información en uno y otro en este caso, el nombre de la empresa que trata los RPs está incluido en los datos de registro.
2. Para el caso de los RPs tratados por la misma empresa que los genera, se reporta poniendo los datos de la empresa tratadora como generadora también, de igual forma, solo se llena el campo 3 y no el 11 por la misma razón.
3. Para el caso de las empresas tratadoras que por alguna razón transfieran RPs a otra, deben de llenar el campo 4 con los datos del generador original, el campo 8 con la información del transportista que les llevo a ellas los RPs, el campo 3 con su número de autorización y el 11 con el correspondiente a la empresa que recibe los RPs y en “observaciones” anotar la aclaración correspondiente y agregar la información del transportista que llevó los RPs

desde la primera planta tratadora hasta la segunda (que sería el transportista 3 en el ejemplo de bitácora dada previamente).

4. Para las empresas que se dedican únicamente al transporte y recolección de RPs. Solo reportan en esta tabla, la 4.3, ninguna de las demás (a no ser que hagan otras actividades que lo ameriten), no llenan el campo 8, solo el 3.
5. Para las empresas que se dedican exclusivamente al acopio, deben llenar todo menos la modalidad (campo 9) de la presente tabla, la información del transportista que lleva los RPs del centro de acopio al tratador (prestador de servicios) se captura en la COA del tratador.
6. Para los casos de empresas que transporten, acopien y traten se llenan las 3 secciones de la tabla 4.3 con la información correspondiente, puede haber casos en donde una misma empresa haga todo y en éstos, habrá información repetida en las tres secciones, habrá otros en donde la empresa recolecte, acopie y trate RPs diferentes en cuyo caso la información capturada en cada sección será diferente.

Nota: El campo 4 también puede ser llenado con el NRA de la empresa generadora de residuos.

Para más detalle sobre la captura se puede ver el documento complementario a esta guía que detalla el uso del programa de captura de la COA. También se puede consultar la guía del sector de tratamiento de residuos peligrosos, hecha especialmente para este tipo de empresas.

Tabla 4.4. Informe de atención a recomendaciones realizadas a planes de manejo de residuos peligrosos

Esta tabla requiere de información de las acciones que se han llevado a cabo para dar cumplimiento a las recomendaciones establecidas por la autoridad durante el registro de los planes de manejo de RPs, además se requiere tener a la mano programas de seguimiento o actividades realizadas, que se podrá obtener de los documentos existentes o preguntando al personal competente en esta área, para capturar la información solicitada.

Tabla 4.5. Tratamiento de suelos contaminados

El reporte de esta tabla, es igual que en la tabla 4.3, para este caso específico se captura en el caso de tratar suelos contaminados.

Emisión y transferencia de contaminantes

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

En esta sección se registra la información de emisiones y transferencia de contaminantes (104 sustancias sujetas a reporte al RETC), así como las actividades de prevención y control de las mismas, puras o incluidas en materiales. La información se expresará de manera desagregada por sustancia en caso de encontrarse en los insumos, como componente de una fórmula, en la composición química de los residuos peligrosos, en la descarga en agua residual, o como componente de los gases emitidos a la atmósfera.

Para la elaboración de esta sección los cálculos y/o actividades que deben realizarse antes o durante la elaboración de la COA son:

- Identificar las sustancias sujetas a reporte para el RETC que existen en el establecimiento como: insumos (directos e indirectos) y/o productos,
- Identificar las sustancias sujetas a reporte para el RETC que se emiten a la atmósfera, se descargan en las aguas residuales o forman parte de los residuos peligrosos de la empresa,
- Medir o estimar la cantidad de sustancias RETC que se consumen o producen (almacenan, emiten o descargan) anualmente,
- Comparar la cantidad anual producida de sustancias RETC contra los umbrales de uso/producción o emisión.

Los documentos que se deben consultar para obtener la información son los mostrados en el siguiente recuadro:

Recuadro G. Información requerida para reportar la Sección V de la COA

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
Tabla 5.1 Producción y/o comercialización de Sustancias RETC en el establecimiento	
Información que se solicita: actividad sustantiva, uso de las sustancias, nombre del material que contiene las sustancias, manejo de las sustancias, sustancias contenidas y su número CAS, porcentaje en peso de la sustancia y cantidad anual (todo de las sustancias RETC)	
Documentos de soporte y referencias: Listado de sustancias sujetas a reporte de competencia federal para el RETC, lista de insumos y productos (reportada previamente en las Tablas 1.2 y 1.3 de la Sección I de la COA), hojas de datos de seguridad de materiales (MSDS por sus siglas en inglés) de insumos directos, indirectos y productos; certificados de calidad; especificaciones del producto	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión en la tabla 5.1 de sustancias RETC y reportadas en la tabla 1.2 • La cantidad de material reportado como insumo en la tabla 1.2 es la misma que se reporta como uso de Sustancia RETC, siendo que el % de la Sustancia RETC contenida es menor al 100% 	<p>Algoritmo 5.1 Estimación de la sustancia RETC a partir del Porcentaje en Peso (%W) en el insumo</p> <p>Ejemplo 5.1-1 Estimación de la sustancia RETC a partir del porcentaje en peso (%W) en el insumo</p> <p>Ejemplo 5.1-2 Estimación de la sustancia RETC a</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<ul style="list-style-type: none"> • Se reportan los gases de combustión como “sustancias producidas”, los cuales se deben de reportar en la tabla 5.2 • Confusión en los nombres de las Sustancias RETC contenidas en materiales o materias primas (ejemplo: ácido clorhídrico que contiene arsénico) • Confusión en los nombres de Sustancias RETC sujetas a reporte: ejemplo dioxinas por dioxano, ácido sulfúrico por ácido sulfhídrico <p>Las cantidades de uso o producción de las sustancias RETC, son mayores a las cantidad de uso de materias primas y de producción (reportadas previamente en las Tablas 1.2 y 1.3)</p>	<p>partir del porcentaje en peso (%W) en el producto</p>
Tabla 5.2 Emisiones y transferencia de Sustancias RETC	
<p>Información que se solicita: identificación de la sustancias que se emite al aire, agua, suelo y transferencia para su manejo, área de generación, emisión o transferencia anual, información sobre la empresa prestadora de servicio, método de estimación, modalidad de manejo, nombre y autorización de la empresa prestadora de servicios, domicilio, estado y país a donde fueron transferidas las sustancias</p>	
<p>Documentos de soporte y referencias: documentos con información de características de los equipos, bitácoras de operación y mantenimiento de los equipos que generan sustancias RETC, hojas técnicas o de diseño del equipo de control, estudios de monitoreo de emisiones a la atmósfera como; análisis de aguas residuales y análisis CRIT de residuos peligrosos. Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos de la Agencia de Protección Ambiental AP-42 de los Estados Unidos de América (USEPA, 2010), compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos del Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (NPI, 2010), factores de emisión del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) para el Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (NGGIP, 2006), las herramientas de cálculo de la Iniciativa del Protocolo sobre Gases de Efecto Invernadero (<i>GHG Protocol</i>) del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), (GHGI, 2010), los documentos de referencia de las mejores técnicas disponibles para la prevención y control de la contaminación de la Unión Europea, conocidos como “BREF”.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Errores en las cantidades de emisión al aire de contaminantes que previamente se reportaron en la tabla 2.3 “emisiones anuales” y las reportadas en emisiones y transferencias al agua de contaminantes que previamente se reportaron en la tabla 3.2.3 • Confusión en el reporte de emisiones al agua (cuerpo de agua nacional) y transferencias (alcantarillado) • Duplicidad de la cantidad de una sustancia al reportarla como emisión al suelo y como transferencia • Errores en la conversión de unidades de masa y volumen, aplicación de factores de emisión y conversión de unidades de concentración a emisión • La cantidad total de emisiones y/o 	<p>Metodología general 5.2 para determinar la sección de reporte de la sustancia RETC que se emite o se transfiere</p> <p>Ejemplo 5.2-1 Determinación de la sección de reporte de la sustancia RETC que se emite o se transfiere</p> <p>Algoritmo 5.2-2 Estimación de la sustancia RETC a partir del %W en el RP</p> <p>Ejemplo 5.2-2 Estimación de la sustancia RETC a partir del %W en el RP</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<p>transferencias de una sustancia RETC es mayor que la cantidad reportada como insumo o uso (a menos de que se trate de una emisión que se genera por reacciones químicas durante el proceso productivo)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Error cuando se reportan transferencias de sustancias RETC en productos • Cantidad total de transferencia de un residuo peligroso o de una descarga de agua igual a la cantidad de emisión o transferencia de la sustancia RETC <p>Duplicidad de la cantidad de una sustancia al reportarla como emisión al suelo y como transferencia</p>	
Tabla 5.3 Emisiones y transferencias de sustancias derivadas de accidentes, contingencias, fugas o derrames, inicio de operaciones y paros programados	
Información que se solicita: identificación y cantidad de la sustancia que se emite al aire, agua, suelo y transferencia para su manejo, método de estimación, número de evento ocurrido en el establecimiento, causa del evento, modalidad de manejo, nombre y autorización de la empresa prestadora de servicios, domicilio, estado y país a donde fueron transferidas las sustancias	
Documentos de soporte y referencias: registros de accidentes, contingencias y fugas, bitácoras de operación y mantenimiento de equipos generadores de emisiones a la atmósfera, Información sobre las condiciones de operación, balances de materia y de energía, herramientas de simulación para determinar la cantidad de emisiones y transferencias de contaminantes (USEPA 2010a)	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión del reporte de las emisiones y transferencias de contaminantes derivadas de accidentes, contingencias, fugas o derrames, inicio de operaciones y paros programados. • Omisión del reporte de las sustancias RETC que son transferidas a través de los residuos peligrosos, generados por fugas o derrames, así como el nombre de las empresas de manejo. 	<p>Determinación del reporte de sustancias RETC en operación anormal (paros, arranques y/o accidentes u otros). Ver metodología 5.2</p> <p>Ejemplo 5.3-1 Dónde reportar de emisiones y/o transferencias de sustancias RETC que involucren operaciones anormales (paros, arranques, accidentes u otros)</p> <p>Ejemplo 5.3-2 Estimación de la masa de gas liberada de un tanque a presión</p>
Tabla 5.4.1 Actividades de prevención de la contaminación en Sustancias RETC	
Información que se solicita: Nombre del insumo, Residuo Peligrosos o material que contiene la sustancia, Sustancias RETC contenidas, Estado físico, Actividades de prevención realizadas en la fuente, Área de aplicación de la actividad de prevención	
Documentos de soporte y referencias: Programa de actividades de prevención y manejo de la contaminación de sustancias químicas, en materiales, residuos peligrosos, descargas de agua residual, corrientes de proceso, que contienen sustancias RETC	
Omisión del reporte de las actividades realizadas	Ejemplo 5.4.1-1 Actividades de prevención de la contaminación en una empresa que trata sus propios RPs
Tabla 5.4.2 Reutilización, reciclado, coprocesamiento, tratamiento, incineración y control de sustancias dentro del establecimiento y/o disposición final	
Información que se solicita: método, nombre del Residuo Peligroso o material, sustancias RETC contenidas, cantidad, clave del método, eficiencia estimada	
Documentos de soporte y referencias: Lista de sustancias RETC que se usan, producen, y/o emiten al aire, agua o suelo y/o que se están presentes en las corrientes de proceso, y/o que se manejan dentro de la empresa para su reutilización, reciclado, coprocesamiento, tratamiento, incineración y/o control de sustancias dentro del establecimiento y/o disposición final. La plena identificación del tipo de control y/o proceso de manejo de las sustancias RETC con el porcentaje de	

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
eficiencia de los mismos. Hojas técnicas o de diseño del equipo de control, documentos con información de características de los equipos (manuales, etc).	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión de información • Omisión de los porcentajes de eficiencia de los equipos y procesos de manejo de los materiales, residuos o descargas que contienen sustancias RETC 	Ejemplo 5.4.2-1 Actividades de prevención de la contaminación en una empresa que trata sus propios RPs
Tabla 5.5 Tratamiento o disposición de Sustancias RETC por prestadores de servicio	
Información que se solicita: sustancias contenidas en los residuos peligrosos y aguas residuales, número de autorización de la empresa prestadora de servicios para manejo de residuos peligrosos, identificación del generador, identificación de sustancias listadas, cantidad anual recibida.	
Documentos de soporte y referencias: registros y bitácoras de recepción de residuos peligrosos para su manejo, manifiestos de residuos peligrosos, autorizaciones vigentes otorgadas por la SEMARNAT, lista de residuos peligrosos e identificación de sustancias RETC de la SEMARNAT, estimación a través de diferentes metodologías de las cantidades de sustancias RETC contenidas en los residuos peligrosos o en las descargas de aguas residuales a manejar	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión de información requerida • Omisión de la cantidad de sustancia RETC recibida para su manejo • Omisión de información de identificación del generador del residuo peligroso 	Ejemplo 5.5-1 Reporte de las actividades de prevención y manejo (tabla 5.4.2) de la contaminación y tratamiento o disposición final de sustancias RETC por prestadores de servicio (tabla 5.5 empresas tratadoras de RPs)
Tabla 5.6 Razones de los cambios en emisiones y/o transferencias	
Información que se solicita: sustancias o contaminantes, justificación del cambio, programa o manejo de sustancias químicas	
Documentos de soporte y referencias: Cédula de Operación Anual del año inmediato anterior al año que se va a reportar, o de otros años atrás, tabla o análisis comparativo de las cantidades de emisiones y transferencias de contaminantes por tipo de sustancia, Toda la información que justifique las diferencias de las cantidades de emisiones y transferencias cuando éstas sean diferentes al año inmediato anterior al que se va a reportar, programa de manejo de sustancias químicas (cuando sea necesario)	
<ul style="list-style-type: none"> • Omisión de información • No existe justificación de las diferencias en las cantidades de emisión y transferencia con respecto a la información de la COA del año anterior. • Omisión de sustancias RETC, que se habían venido reportando en años anteriores 	



Se reportará como una emisión al suelo, un derrame de una Sustancia RETC. Si el establecimiento extrae el suelo contaminado para enviarlo a una empresa prestadora de servicios; entonces, deja de ser una emisión y se convierte en una transferencia, ya que es la acción última que lleva a cabo el establecimiento.



Todos los cálculos, formatos, bitácoras y demás elementos realizados por el establecimiento para reportar la COA pueden integrarse a la memoria de cálculo, misma que puede ser solicitada por la SEMARNAT para aclaraciones (Con base en el Artículo 21 del Reglamento de la LGEEPA en materia de RETC).

Metodologías de estimación y memorias de cálculo

Tabla 5.1. Uso, producción y/o comercialización de sustancias RETC en el establecimiento

En esta tabla se debe de capturar la información concerniente a las sustancias RETC que entran o se producen en el establecimiento, para el caso de los insumos utilizados, se puede estimar a partir de la información del fabricante sobre la composición de su producto. Para el caso de productos generados por el establecimiento, se puede calcular la cantidad de éstas a partir de análisis de laboratorio o por el conocimiento del proceso que las genera entre otros.

Algoritmo 5.1. Estimación de la sustancia RETC a partir del Porcentaje en Peso (%W) en el insumo

1. Partiendo de la información de la tabla 1.2 se identifican cuales insumos son o contienen sustancias RETC.
2. Una vez detectados dichos insumos, se busca la información de cada uno de ellos en documentos adecuados (nombre químico, %W de la sustancia RETC y su #CAS, la modalidad (si es materia prima, materia prima pura, etc.) y en qué actividad sustantiva se usa (proceso, uso directo, indirecto, otros usos etc.).
3. De ser necesario, se transforman las unidades a masa para calcular la correspondiente de la sustancias RETC (se multiplica por la densidad de la sustancia para pasar de volumen a masa, es común).
4. Se multiplica la masa del insumo por el %W de la sustancia RETC y se divide entre 100 para obtener la masa de la sustancia RETC.
5. Se compara con el umbral de fabricación o proceso o uso y si la cantidad de la sustancia RETC es igual o mayor entonces se reporta en tabla 5.2.
6. Si la sustancia RETC contenida en un insumo también forma parte de una emisión o transferencia (al aire, agua o en RP) y es igual o rebasa el umbral de emisión (en total o por separado), entonces la sustancia RETC contenida en el insumo se reporta en la tabla 5.1 sin importar si rebasa el umbral o no.
7. Si no se rebasa el umbral de uso y no se rebasa el umbral de emisión (en ningún caso), la empresa tiene la opción de reportar el consumo o producción de una sustancia RETC (contenida en productos y/o insumos) en el apartado de "observaciones".

Nota: Para el caso de productos que contengan sustancias RETC, se hace básicamente lo mismo pero con las fuentes de información correspondientes, que son el laboratorio o personal de ingeniería entre otros, ya que es la misma empresa la que de alguna tiene el conocimiento del producto o subproducto que elabora o produce.

Ejemplo 5.1-1. Estimación de la sustancia RETC a partir del porcentaje en peso (%W) en el insumo

En el sector de metal y metalurgia puede haber varios insumos que contienen sustancias RETC, por ejemplo: se utilizan derivados del petróleo como agentes activos en varios procesos de concentración de minerales, en algunos casos, se utiliza aceite mineral o combustóleo como agente reductor y combustible en altos hornos, en operaciones de tratamiento superficial de metales se utilizan compuestos de metales como el Zn, Cr, Ni, Cd etc. para el desengrasado de piezas metálicas se llegan a utilizar solventes orgánicos como el 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, benceno, fenol entre otros, en arenas químicas (para moldeo) se llega a utilizar HCN, formaldehído, la hidracina se utiliza para acondicionar agua para calderas y generadores de vapor (actualmente muchas empresas la han sustituido), en los acumuladores eléctricos hay plomo, en transformadores eléctricos puede haber bifenilos policlorados y en algunos casos, hexafluoruro de azufre (dieléctrico para equipos de alto voltaje), material aislante (como asbestos en algunos casos) para rodillos entre muchos otros ejemplos.

En la siguiente figura (bitácora), se muestra un fragmento de una hoja de cálculo en donde se registra la información correspondiente a la tabla 5.1 de la COA para una empresa siderúrgica, que en su proceso, utilizó en el año de reporte, keroseno y diesel como agentes reductores/combustibles en la elaboración de arrabio

Nombre comercial del insumo o MP	Nombre Químico	Clave o #CAS	Modalidad de uso	Utilizado en:	Estado Físico	F. Almacenamiento	Cantidad (insumo)	Unidad	Sustancia RETC	Clave o #CAS	%W S. RETC	Cantidad (S. RETC)	Unidad
Keroseno	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	20.00	ton	Benceno	71-43-2	1.12E-01	0.02	ton
Keroseno	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	20.00	ton	Bifenilo	92-52-4	1.03E+00	0.21	ton
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	As	7440-38-2	7.50E-06	3.75	g
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Cd	7440-43-9	2.80E-05	0.01	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Cr	S/C3	7.70E-05	0.04	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Hg	7439-97-6	3.20E-05	0.02	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Ni	S/C5	3.88E-04	0.19	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Fenol	108-95-2	5.80E-02	0.03	ton
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Benceno	71-43-2	7.23E-04	0.36	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Bifenilo	92-52-4	9.50E-04	0.48	kg
Diesel	N.A.	N.A.	AR, C	PP	LN	CM	50.00	ton	Estireno	100-42-5	2.77E-02	0.01	ton
Aceite dieléctrico	N.A.	N.A.	Insumo	PP, SAX	LN	CM	300.00	ton	BPC	1336-36-3	1.00E+02	300.00	ton
Gas dieléctico	N.A.	N.A.	Insumo	PP, SAX	GP	CM	12.00	kg	SF6	2551-62-4	1.00E+02	12.00	kg
Cromo para LF	N.A.	N.A.	Trat Sup	PP	S	CM	25.00	ton	Cr2O3	S/C3	5.20E+01	13.00	ton
Aislante térmico	N.A.	N.A.	Prot equip	PP	S	CC	10.00	ton	Abestos	1332-21-4	1.00E+02	10.00	ton

Figura 68. Imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora de insumos y para el cálculo del contenido de sustancias RETC contenidas en ellos

Puesto que la hoja de cálculo también se utiliza para llenar la tabla 1.2, existen varias

columnas se ocultaron para mejorar la vista de la información, sin embargo algunas permanecen visibles ya que sirven de memoria de cálculo, por ejemplo, los 3.75g de As presentes en el diesel se obtienen al multiplicar la cantidad de éste utilizada en el año de reporte (50ton que van en la tabla 1.2) por la concentración ($7.5 \times 10^{-6} \%W$), la operación completa es:

$$\left(50 \frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) \left(\frac{7.5 \times 10^{-6}}{100}\right) \left(\frac{1 \times 10^6 \text{g}}{\text{ton}}\right) = 3.75 \frac{\text{g}}{\text{año}}$$

Se hace lo mismo con las otras sustancias RETC en la materia prima y en los insumos.

Nota: Si se diera el caso de que las emisiones de alguna de estas sustancias rebasen el umbral de emisión (y por tanto, estarían reportadas en la tabla 5.2) y no el de uso, se tendrían que reportar, a pesar de no rebasar el de uso en la tabla 5.1.

En el caso de no alcanzar el umbral de uso para sustancias como As, Hg, Ni, etc. (contenidas en el keroseno y diesel) el reporte es opcional para la empresa, en la del presente ejemplo se decidió reportarlos para colaborar con la construcción del inventario nacional de estas sustancias.

Ejemplo 5.1-2. Estimación de la sustancia RETC a partir del porcentaje en peso (%W) en el producto

Continuando con el ejemplo anterior, se muestra la continuación de la misma hoja de cálculo pero ahora con la información de algunos de los productos de la misma empresa, para este caso, solo se muestra el benzol como subproducto con sustancias RETC.

EL benzol es una mezcla de hidrocarburos que contiene aromáticos (benceno, tolueno y xilenos) útiles en proporciones variables, la cantidad de benceno en este ejemplo se determinó arbitrariamente solo para fines de este ejemplo, por lo que no necesariamente se tendrá este valor en una planta real. La figura con la imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora se muestra a continuación.

Nombre comercial del insumo o MP	Nombre Químico	Clave o #CAS	Modalidad de uso	Estado Utilizado en:	Estado Físico	F. Almacenamiento	Cantidad (insumo)	Unidad	Sustancia RETC	Clave o #CAS	%W S. RETC	Cantidad (S. RETC)	Unidad
Benzol	N.A.	N.A.	Venta	SP	LN	CM	52.00	ton	Benceno	71-43-2	1.00E+01	5.20	ton

Figura 69. Imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora para el registro y cálculos de estimación de la sustancia RETC a partir del porcentaje en peso (%W) en el producto

Puesto que la hoja de cálculo también se utiliza para llenar la tabla 1.3, existen varias columnas se ocultaron para mejorar la vista de la información, sin embargo algunas

permanecen visibles ya que sirven de memoria de cálculo, por ejemplo, las 5.2ton presentes en el bencol se obtienen al multiplicar la cantidad producida de éste subproducto en el año de reporte (52ton que van en la tabla 1.3) por la concentración (10 %W), la operación completa es:

$$\left(52 \frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) \left(\frac{10}{100}\right) = 5.2 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Se hace lo mismo con las otras sustancias RETC en los productos.

Nota: Si se diera el caso de que las emisiones de esta sustancia rebasen el umbral de emisión (y por tanto, estarían reportadas en la tabla 5.2) y no el de uso, se tendrían que reportar, en la tabla 5.1 su contenido aunque no se rebasara umbral de uso o producción.

En el caso de no alcanzar el umbral de uso para sustancias como As, Hg, Ni, etc. (contenidas en el diesel) el reporte es opcional para la empresa, en la del presente ejemplo se decidió reportarlos para colaborar con la construcción del inventario nacional de estas sustancias.

Tabla 5.2. Emisiones y transferencias de sustancias RETC

En esta tabla se reporta con la información de emisiones y transferencias de sustancias RETC, para determinar qué se debe de reportar aquí, se deben de tener realizados los cálculos de los apartados 1.2, 2.2, 2.3, 3.2.3 y 4.1 poniendo atención a las sustancias RETC presentes en cada una.

Metodología 5.2. Determinación de la Sección de reporte de la sustancia RETC que se emite o se transfiere

1. Se identifican qué contaminantes están presentes en emisiones a la atmósfera, emisiones de descargas al agua, transferencias al alcantarillado, transferencias de residuos peligrosos y emisiones al suelo, cuáles se producen en el proceso productivo, incluyendo servicios auxiliares (operación normal), así como de aquellos emitidos y/o transferidos durante la operación anormal (paros, arranques, accidentes etc. tabla 5.3); la información y conocimiento del proceso es útil, como la del diagrama de operación y funcionamiento ingresado a la COA.
2. Para los contaminantes normados (atmosféricos) previamente se reporta la tabla 2.2 ya que la normatividad aplicable pide parámetros determinados que deben estar incluidos en la lista de emisiones del punto 1, posteriormente se estiman las emisiones atmosféricas (generadas en operación normal) correspondientes a la tabla 2.3. Para el caso de los residuos líquidos (transferencias y descargas), es importante se observe el volumen reportado en la tabla 3.2.1 (volumen de tratamiento anual dentro del establecimiento) y

la 3.2.3 (volumen de descarga final), los cuales en la mayoría de los casos suelen ser iguales, a menos que cuente con sistemas de recirculación de agua o reutilice o lleve a cabo el reciclaje de la misma).

3. Se hace la estimación de los contaminantes presentes en las emisiones a la atmósfera, contaminantes presentes en el agua residual que se emiten o se transfieren, suelo (cuando haya emisiones) y residuos peligrosos, así como las correspondientes emisiones y/o transferencias causadas por operación anormal (paros, arranques, accidentes etc.) con la metodología que mejor aplique para cada caso, en general ésta puede ser o incluir:
4.
 - Medición directa para parámetros normados (ajustar unidades),
 - factores de emisión,
 - Datos históricos,
 - Balances de materia,
 - Modelos matemáticos,
 - Cálculos de ingeniería.

Notas importantes:

- A. Algunos parámetros son en sí, familias de contaminantes que se miden o estiman “juntos”, en la especiación de éstos, puede haber sustancias RETC, (p.e., en los hidrocarburos totales no quemados puede estar presente el metano), para este caso, se hace la especiación necesaria.
 - B. Se deben de reportar todas las emisiones, normadas o no.
 - C. Para el caso de los contaminantes en el agua, por lo general se hacen las estimaciones usando promedios de medición directos aunque en casos especiales se pueden utilizar las otras metodologías siempre y cuando se justifique adecuadamente.
 - D. Para el cálculo de la cantidad de sustancias RETC en residuos peligrosos, por lo general se utilizan % en peso respecto a la masa total del residuo, lo cual facilita la estimación, de ser el caso, también se pueden utilizar las otras metodologías, siempre y cuando se justifique adecuadamente.
4. Se identifican cuales de estos contaminantes o parámetros están en la lista de sustancias RETC.
 5. Para los cuales (contaminantes RETC normados y/o no normados), se compara la emisión y/o transferencia en aire, agua, suelo y residuos peligrosos de operación normal y anormal (tabla 5.3) con el umbral de emisión, si alguna de éstas lo iguala o rebasa, entonces este algoritmo continúa en el paso 8, si no en el paso 6.
 6. Se hace la suma de todas las emisiones y/o transferencias de cada sustancia RETC (aire, agua, suelo, RPs en operación normal y accidentes), si el resultado es menor al umbral de emisión continua el algoritmo continua en el

punto 7 y si es igual o mayor continua el paso 8.

7. Ya que no se rebasa el umbral de emisión (o transferencia) en ningún caso, las emisiones a la atmósfera se reportan en la tabla 2.3, las emisiones y transferencias y/o emisiones líquidas en la 3.2.3 como “otros”, las de RP de operación en la 4.1 y las emisiones y/o transferencias en la tabla 5.3 (accidentes) pueden o no reportarse a consideración de la empresa (en éstos casos el establecimiento deberá conservar sus memorias de cálculo para cualquier aclaración).

En el caso de tener la especiación de parámetros que engloban a varios contaminantes (principalmente sustancias RETC) y reportarlos como “otros”, se debe de sustraer la masa de éstos a la del parámetro que los engloba (Fin del algoritmo).

8. Si la cantidad de una sustancia RETC emitida o transferida a la atmósfera, agua, al suelo o en residuos peligrosos en operación normal y/o anormal, por separado o la suma total (explicada en el punto 6), es igual o mayor al umbral de emisión, entonces se debe de reportar la sustancia RETC (generada en operación normal) en la tabla 5.2 y no en la 2.3 ni en 3.2.3. De existir un parámetro que se reporte en la tabla 2.3 o 3.2.3 que englobe a varios contaminantes, la masa de las sustancias RETC se le debe de sustraer.

De no cuidar el no repetir la información capturada en la tabla 5.2 en la 2.3 y 3.2.3 la SEMARNAT sumará ambas.

Si una sustancia RETC dentro del caso de este punto, únicamente está presente en un residuo peligroso de operación normal (no en emisiones o transferencias al aire y/o al agua) o si lo está en un RP y en alguna descarga y/o transferencia, la fracción correspondiente a ésta en el RP se reporta en la tabla 5.2 y NO se sustrae de la masa total de éste, reportada en la 4.1 (ya que en ésta última se reporta la generación total anual de residuo peligroso).

Cuando una sustancia RETC esté en los supuestos de este punto y también sea un insumo, entonces se tendrá que reportar la cantidad de dicha sustancia RETC que se consumió en la tabla 5.1 aunque no se haya alcanzado el umbral de uso. No hay que olvidar que la masa **completa** del insumo se reporta invariablemente en la tabla 1.2.

Para las sustancias RETC que estén en los supuestos de este punto, emitidas o transferidas por accidentes, paros etc., se reporta la tabla 5.3 con la correspondiente información.

Ejemplo 5.2-1. Determinación de la sección de reporte de la sustancia RETC que se emite o se transfiere

Para ejemplificar de una manera clara en donde se reporta cada contaminante (y porque ahí y no en otro lugar), se parte de la base que los cálculos de emisiones ya

han sido realizados. En la figura siguiente, se muestra un fragmento de una hoja de cálculo con todos los cálculos de emisiones por equipo o punto de generación/emisión para una instalación que trabaja con formaldehído (solvente) que incluye en sus instalaciones calentadores de agua y calderas de generación de vapor (ver nota 2 más adelante).

Parámetro	Incluido en.	Punto de generación	Bloque	Combustible o residuo	Cantidad	Unidad	PCB GJ/unidad	FE	Unidades	Emisión anual (ton/año)
NOx	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	2.50E-04	ton/GJ	2.341E+00
NOx	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	2.50E-04	ton/GJ	9.463E-01
NOx	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	6.50E-05	ton/GJ	5.400E+00
NOx	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	6.50E-05	ton/GJ	5.799E+00
NO2	NOx	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	1.00E-06	ton/GJ	9.365E-03
NO2	NOx	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	1.00E-06	ton/GJ	3.785E-03
NO2	NOx	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	4.00E-07	ton/GJ	3.323E-02
NO2	NOx	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	4.00E-07	ton/GJ	3.569E-02
SO2	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
SO2	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
SO2	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	5.00E-02	ton/ton de D	1.034E+02
SO2	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	5.00E-02	ton/ton de D	1.111E+02
PST	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
PST	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
PST	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	2.01E-04	ton/ton de D	4.169E-01
PST	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	2.01E-04	ton/ton de D	4.477E-01
Ni y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
Ni y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
Ni y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	1.00E-10	ton/m3 de D	2.434E-07
Ni y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	1.00E-10	ton/m3 de D	2.614E-07
Ni y sus compuestos	Aguas residuales	Descarga de agua	5.5	Descarga 1	78,931	m3		5.50E-09	ton/m3	4.341E-04
Ni y sus compuestos	RPs	Lodos de tratamiento	6.5	lodo de PTAR	105	ton		5.50E-06	ton/ton de lodo	5.775E-04
Hg y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
Hg y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
Hg y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	1.00E-09	ton/m3 de D	2.434E-06
Hg y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	1.00E-09	ton/m3 de D	2.614E-06
Hg y sus compuestos	Aguas residuales	Descarga de agua	5.5	Descarga 1	78,931	m3		1.00E-08	ton/m3	7.893E-04
Hg y sus compuestos	RPs	Lodos de tratamiento	6.5	lodo de PTAR	105	ton		1.00E-05	ton/ton de lodo	1.050E-03
As y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
As y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	0.00E+00	ton/m3 de GN	0.000E+00
As y sus compuestos	PST	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	1.00E-11	ton/m3 de D	2.434E-08
As y sus compuestos	PST	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	1.00E-11	ton/m3 de D	2.614E-08
As y sus compuestos	Aguas residuales	Descarga de agua	5.5	Descarga 1	78,931	m3		1.00E-09	ton/m3	7.893E-05
As y sus compuestos	RPs	Lodos de tratamiento	6.5	lodo de PTAR	105	ton		1.00E-07	ton/ton de lodo	1.050E-05
CO2	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	5.61E-02	ton/GJ	5.254E+02
CO2	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	5.61E-02	ton/GJ	2.123E+02
CO2	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	7.41E-02	ton/GJ	6.156E+03
CO2	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	7.41E-02	ton/GJ	6.611E+03
COVNM	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	5.00E-06	ton/GJ	4.682E-02
COVNM	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	5.00E-06	ton/GJ	1.893E-02
COVNM	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	5.00E-06	ton/GJ	4.154E-01
COVNM	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	5.00E-06	ton/GJ	4.461E-01
metano	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	1.00E-06	ton/GJ	9.365E-03
metano	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	1.00E-06	ton/GJ	3.785E-03
metano	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	2.00E-07	ton/GJ	1.661E-02
metano	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	2.00E-07	ton/GJ	1.784E-02
formaldehído	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	1.20E-09	ton/m3 de GN	3.065E-04
formaldehído	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	1.20E-09	ton/m3 de GN	1.239E-04
formaldehído	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	3.96E-06	ton/m3 de D	9.634E-03
formaldehído	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	3.96E-06	ton/m3 de D	1.035E-02
formaldehído	COVs	Desde tanques	2.1		105	ton		8.10E-04	ton/ton	8.507E-02

Figura 70. Imagen de la hoja de cálculo utilizada para los cálculos que se deben realizar para determinar en qué tabla de la COA se reporta la emisión de contaminantes de una empresa. Información por contaminante (parámetro) y por punto de emisión

Nota 1: El bloque indicado a lo largo del ejemplo corresponde al diagrama de operación y funcionamiento que no se muestra aquí por economía de espacio, solo se muestra para resaltar la relación de esta información con la capturada en el

diagrama de operación y funcionamiento de la COA.

Nota 2: Los equipos incluidos, los consumos de combustibles, generación de agua residual y lodos de tratamiento fueron fijados arbitrariamente para este ejemplo para mostrar todas las consideraciones que la SEMARNAT toma en cuenta para el reporte de la COA, NO corresponde a una instalación real ya que es difícil encontrar una con todas las características necesarias para ejemplificar los detalles de la mecánica de llenado de la COA (en donde se reporta cada estimación). Se ha procurado que los datos no sean tan diferentes a los encontrados en la industria en general (al menos para los equipos presentados). Los factores de emisión del Ni, Hg y As fueron fijados arbitrariamente solo para fines de este ejemplo (no son referencia), los factores para las PST fueron determinadas a partir de casos reales de emisión encontrados en la literatura (parámetro de medición directa), el resto provienen del IPCC (IPCC, 2003) y del AP42 capítulo 1 sección 3 y 4.

Nota 3: Frecuentemente para buscar factores de emisión de un contaminante, es útil conocer en qué punto del proceso o equipo se generó éste.

Nota 4: No hubo accidentes en este año (para fines de este ejemplo).

Con la información ya lista, se identifican aquellos que están en la lista de sustancias RETC y el correspondiente umbral de emisión, que para este ejemplo en particular son el Ni, As, Hg (y compuestos de los 3), metano, NO₂, CO₂ y formaldehído.

Ahora se hacen las comparaciones con el umbral, para ello se hacen las sumas correspondientes de cada contaminante emitido o transferido, este cálculo se aprecia en la siguiente figura.

Parámetro	Emisión total anual (kg/año)	Umbral (kg/año)	Tabla de reporte
CO2	13,504,295.57	100,000	5.2
NOx	14,486.23		2.3
NO2	82.07	100,000	2.3
SO2	214,540.00		2.3
PST	864.57		2.3
Ni y sus compuestos	1.01	1	5.2
Hg y sus compuestos	1.84	1	5.2
As y sus compuestos	0.09	1	2.3
COVNM	927.19		2.3
Metano	47.61	100,000	2.3
Formaldehído	105.49	100	5.2

Figura 71. Imagen de la hoja de cálculo utilizada para los cálculos que se deben realizar para determinar en qué tabla de la COA se reporta la emisión de

contaminantes de una empresa

Obsérvese que los contaminantes Ni, Hg y As (con sus compuestos) están presentes en emisiones a la atmósfera, al agua y en transferencias de RPs.

Para el caso del níquel (y compuestos de éste), ninguna emisión ni transferencia por sí sola rebasa el umbral (aire, agua y RPs), pero la suma sí.

Para el caso del mercurio (Hg) y sus compuestos, tan solo la transferencia de este contaminante en los lodos es suficiente para pasar el umbral. Obviamente la suma va a rebasar el umbral, por lo que también se puede ver claramente en una hoja de cálculo que las realice como la anterior.

Para el caso del arsénico (As) y sus compuestos, ninguna emisión, ni transferencia ni la suma rebasa el umbral.

Para el caso del formaldehído, se emite como parte de los COVs y como parte de los COVNM y está en el mismo caso que el Ni, la suma de las diferentes contribuciones es la que pasa del umbral.

El NO₂ es una sustancia RETC que está contenida en los NO_x, los metales emitidos a la atmósfera se consideran (para fines de este ejemplo al menos) como parte de los PST.

Tomando en consideración las observaciones anteriores, se determina fácilmente que el reporte del níquel (y sus compuestos) debe ir en la tabla 5.2, en ella debe de haber 3 entradas con este contaminante, una para la parte emitida al aire, otra para aquella parte emitida (para este caso) al agua, otra para la transferida en RPs, las secciones 2.3 y 3.2.3 se dejan libres de este contaminante pero la tabla 4.1 debe de contener el reporte de la masa total del residuo que contiene al níquel (no se hace la resta).

Para el caso del mercurio y sus compuestos, se hace exactamente lo mismo que con el níquel (el lodo de tratamiento es el mismo para el Ni, Hg y As, solo se captura una vez).

Para el caso del arsénico se reporta la parte emitida al aire en la tabla 2.3 (en otros), la parte emitida al agua en la 3.2.3 (en otros) y la parte de As presente en el RP (lodo) no se reporta pero se aclara en la parte de observaciones (se aclara que no se reporta por no alcanzar el umbral pero que se cuentan con las memorias de cálculo por si hay algún requerimiento).

El CO₂ se debe reportar en la tabla 5.2, mientras que el NO₂ en la 2.3 (como otros) ya que no rebasa el umbral, puesto que la masa de NO_x incluye al NO₂, a la masa de NO_x se debe de restar la de NO₂. El metano se reporta en la tabla 2.3 (como otros) por no rebasar el umbral de reporte y los COVNM se deben reportar como hidrocarburos totales sin restar la masa de metano puesto que no lo incluyen (son

Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos), si este no fuera el caso, se tendría que hacer la resta.

El formaldehído se debe reportar en la tabla 5.2 con dos entradas, una debe de ser en los gases de combustión y la otra dentro de los COVs, si hubiera una emisi3n de COVs como tal, la masa del formaldehído presente en ellos se le resta y el resultado (la diferencia) debe de ir en la tabla 2.3.

No hay que olvidar que se reportan todos los contaminantes, los RETC y los no RETC tambi3n.

Algoritmo 5.2-2. Estimaci3n de la sustancia RETC a partir del %W en el RP

1. Se identifican cuales RPs son o contienen sustancias RETC.
2. Se busca la informaci3n de cada RP en documentos adecuados, por ejemplo en an3lisis de laboratorio (para conocer su composici3n).
3. De ser necesario, se transforman las unidades a masa para calcular la correspondiente de la sustancias RETC (se multiplica por la densidad de la sustancia para pasar de volumen a masa, es com3n).
4. Se multiplica la masa total del RP por el %W de la sustancia RETC y se divide entre 100 para obtener la masa de la sustancia RETC.
5. Se compara con el umbral de emisi3n y si la cantidad de la sustancia RETC es igual o mayor, entonces se reporta en tabla 5.2 (no sustraer la masa de la sustancia RETC de la total del residuo, en la tabla 4.1 se debe reportar el total del residuo peligroso generado), si no se alcanza el umbral de emisi3n se puede optar por reportar el resultado del c3lculo en la 5.2 o no hacerlo.

Ejemplo 5.2-2. Estimaci3n de la sustancia RETC a partir del %W en el RP

Sup3ngase que una empresa del sector incluye una planta de tratamiento de aguas residuales (para sus propios efluentes). Para calcular la cantidad de n3quel y mercurio presentes en los lodos de tratamiento de aguas se utiliz3 una hoja de c3lculo, en la siguiente figura se muestra la informaci3n con la estimaci3n correspondiente seg3n el algoritmo antes descrito.

Generaci3n			Sustancia		
Nombre del material que contiene la sustancia RETC	Cantidad	Unidad	Nombre de la sustancia RETC	Clave o CAS	Area de gen
Lodos de tratamiento de agua	2.34	ton	N3quel y sus compuestos	S/C5	SAX
Lodos de tratamiento de agua	2.34	ton	Mercurio y sus compuestos	S/C4	SAX

Sustancia RETC.					Datos de la empresa que maneja el RP				
Area de gen	% en RP	Cantidad	Unidad	Método de estimación	Tipo de transferencia	Nombre y # autorización	Modalidad de manejo	Domicilio Edo y País	
SAX	1.50E-02	3.51E-04	ton	MD	Tratamiento	EcoEmpresa 5000	RMN2	Tlaxcala	
SAX	2.30E-02	5.38E-04	ton	MD	Tratamiento	EcoEmpresa 5000	RMN2	Tlaxcala	

Figura 72. Imagen de la hoja de cálculo usada para la recopilación y estimación del por ciento en peso de las sustancias RETC contenidas en los residuos peligrosos (la figura se dividió para hacerla más visible)

La información del material proviene del inventario de residuos peligrosos (y debe de ser congruente con la tabla 4.1), el % en peso de níquel y mercurio proviene del laboratorio (medición directa) y se multiplica éste por la masa total del lodo, para el caso de la estimación de níquel (y sus compuestos) el cálculo realizado es $2.34 \times 1.5 \times 10^{-4} / 100 = 3.51 \times 10^{-4}$ ton, ésta la misma operación se hace para el mercurio.

El resto de la información que se muestra, proviene de los documentos adecuados, para este caso, es una transferencia a una compañía que se encarga de recuperar metales de residuos.

Tabla 5.3. Emisiones o transferencias de sustancias derivadas de accidentes, contingencias, fugas o derrames, inicio de operaciones y paros programados

En esta tabla se reportan emisiones y/o transferencias de sustancias RETC derivadas de accidentes, la forma de estimarlas es tan variada como puede ser la situación que las origina, básicamente se pueden utilizar las mismas metodologías que para la operación normal (balance de materiales, modelos matemáticos, cálculos de ingeniería etc.).

Lo importante a considerar en esta tabla es cuando se debe hacer el reporte en ella y cuando no, lo cual tiene que ver con las secciones 5.2, 2.3, 3.2.3, 4.1.

Determinación del reporte de sustancias RETC en operación anormal (paros, arranques y/o accidentes u otros)

Este algoritmo está comprendido en la metodología 5.2 ya que la determinación de cuando se debe reportar emisión y/o transferencia de sustancias RETC en operación anormal, tiene que ver con la emisión y/o transferencia de las sustancias RETC en operación normal. A continuación se plantea un ejemplo simple para mostrar el punto anterior.

Ejemplo 5.3-1. Dónde reportar de emisiones y/o transferencias de sustancias RETC que involucren operaciones anormales (paros, arranques, accidentes u otros)

Supóngase que en una instalación siderúrgica, se ha estimado que se emiten al aire una cantidad de 10.56kg de benceno (usado como solvente para desengrasar y

presente en supproductos como el bencol), proveniente de emisiones de tanques (operación y almacenamiento), de bridas, válvulas, sellos etc. como supproducto de la combustión, del proceso (desengrase), etc. Esta cantidad no supera el umbral de emisión (1,000kg) y tendría que ser reportada en la tabla 2.3, sin embargo, hubo un derrame y se estimó que se emitieron al suelo y a la atmósfera 3,230kg de este material, siguiendo con el planteamiento del algoritmo anterior, la emisión total (operación normal y anormal) es de 3240.56kg, por lo que los 10.56kg emitidos durante la operación normal se reportan en la tabla 5.2 (no en la 5.3) y los otros 3,230kg en la 5.3.

Nótese que la emisión en operación normal no alcanzó el umbral para estar en la tabla 5.2 pero la emisión del accidente sí, por lo que la emisión de la operación normal se reporta en la tabla 5.2.

Si en el accidente se hubieran liberado solo 990kg, de todas maneras se tendría que reportar los 10.56kg en la tabla 5.2 y los 990kg en la 5.3 ya que la suma rebasa el umbral (1000.56Kg).

Si en el accidente se hubieran liberado solo 988kg, entonces las emisiones en operación normal (10.56kg) se reportan en la tabla 2.3 (como otros, pues no rebasa el umbral de emisión o transferencia) y los 988kg del accidente en la tabla 5.3 si el establecimiento así lo desea, otra alternativa es no reportar los 988kg en la tabla 5.3 y en el apartado de “observaciones” hacer la nota del accidente aclarando que no se puso en la tabla 5.3 por no rebasarse el umbral, (ni con la suma).

Ejemplo 5.3-2. Estimación de la masa de gas liberada de un tanque a presión

Supóngase que se tiene un tanque que almacena gas natural y que se quiere determinar con suficiente precisión, la masa y tipo de hidrocarburos presentes en él para así empezar hacer las estimaciones de las consecuencias de una ruptura catastrófica de éste. Para este caso se muestra un cálculo basándose en el trabajo de los señores Redlich y Kuong, que con una ecuación cúbica, y un método numérico (en este caso e Newton Rapson) obtienen el valor de Z (factor de compresibilidad) que es una corrección a la ecuación de gas ideal al tener condiciones alejadas de la idealidad.

En la siguiente figura se muestra la información de partida del problema planteado.

Condiciones de operación	Unidades	Valor	componente
TEMPERATURA (T)	K	298.150	
PRESION (T)	Atm	58.071	
Fraccion mol compuesto (i)	Yi	0.950	metano
Fraccion mol compuesto (j)	Yj	0.050	etano
VOLUMEN DEL CONTENEDOR	m3	1,000,000	

Figura 73. Imagen de la hoja de cálculo en la que se observa la información de

partida para la estimación de la masa de gas liberada de un tanque a presión.

Para este caso se opera a 60kg/cm^2 y a 25°C , la composición del gas (para este ejemplo) es del 0.95 de fracción mol de metano y el resto de etano (91.02% en masa de metano) y el contenedor es un tanque de un millón de metros cúbicos (como si se tratase de una esfera de 62.035m de diámetro, solo supuesta para este equipo), como siempre, las unidades deben manejarse adecuadamente en todo tipo de cálculo.

A partir de los datos anteriores, es necesario buscar información termodinámica, como el peso molecular, las presiones y temperaturas críticas de cada compuesto y la constante universal de los gases, a partir de los anteriores, se hace una serie de cálculos que se muestran en la siguiente figura, en ella está el resultado y la descripción de la formula correspondiente a cada uno utilizada, éstas son en si la contribución de los investigadores que desarrollaron esta herramienta.

Constantes Termodinámicas	Detalle y detalles de cálculo	Unidades	Valor
R	Constante de gases	(atm)(L)/(gmol.K)	0.08205
PMi	metano	g por gmol	16.043
Temp critica de comp "i"	metano	K	190.600
Presión critica de comp "i"	metano	atm	45.400
ai	$0.42748(R^2)(Tci^{2.5})/(Pci)$		31.792
bi	$0.08664(R)(Tci)/(Pci)$		0.030
PMj	etano	g por gmol	30.070
Temp critica de comp "j"	etano	K	305.4
Presión critica de comp "j"	etano	atm	48.2
aj	$0.42748(R^2)(Tcj^{2.5})/(Pcj)$		97.319
bj	$0.08664(R)(Tcj)/(Pcj)$		0.045
PM mezcla	$Y1(Pmi)+Y2(Pmj)$	g por mol	16.744
aij	$(ai^{0.5}).(aj^{0.5})$		55.624
am	$(Yi^2).ai+(Yj^2).aj+2.Yi.Yj.aij$		34.220
bm	$Yi(bi)+Yj(bj)$		0.031
Am	$(am).P/(R^2.T^{2.5})$		0.192
Bm	$bm.P/(R.T)$		0.073
Cm	$Am-Bm-(Bm)^2$		0.114
Corrección de gas ideal por Z	$PV=ZNRT$	ninguna	ver MN
Ecuación cúbica de RK	$f(Z)= Z^3-Z^2+Cm.z- Am.Bm = 0$		ver MN
Derivada de la ecc de RK	$f'(Z)=3.Z^2-2.Z+Cm=0$		ver MN
Nueva Z	$Z_{n+1}=Z_n-f(Z)/f'(Z)$		ver MN
Z calculada	Newton Rapson	ninguna	0.8890
Volumen molar	$V=ZNRT/P (N=1)$	L/gmol	0.37
Densidad de la mezcla	$D=(PM\text{ mezcla})/(Vol\text{ molar})$	g/L	44.71
Masa contenida	$D^*(Volumen\ del\ contenedor)$	g	44,709,999.01

Figura 74. Imagen de la hoja de cálculo usada para la estimación de la emisión de la masa de gases desde un tanque a presión que reventó

Como se puede ver en la figura anterior, es necesario utilizar un método numérico para encontrar el valor de Z y a partir de éste, calcular el volumen molar, la densidad de la mezcla y finalmente la masa contenida en g, por lo que las iteraciones para Z que parten de los cálculos de esta hoja de cálculo, se muestran a continuación.

Método numérico de solución (Newton-Rapson)				
Iteración	Valor de f(Z)	Valor de f'(Z)	Z	Error
			1	
1	0.100410744	1.114381758	0.90989556	-0.09010444
2	0.015506079	0.77832043	0.88997307	-0.02189536
3	0.000678615	0.710591823	0.88901807	-0.00107307
4	1.52214E-06	0.707405015	0.88901592	-2.4203E-06
5	7.7182E-12	0.707397841	0.88901592	-1.2273E-11
6	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
7	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
8	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
9	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
10	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
11	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
12	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
13	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
14	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
15	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
16	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
17	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
18	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16
19	7.28584E-17	0.707397841	0.88901592	-1.2488E-16
20	-5.20417E-17	0.707397841	0.88901592	1.2488E-16

Figura 75. Imagen de la hoja de cálculo usada para la estimación de la emisión de la masa de gases desde un tanque a presión que reventó. Se muestra el detalle de la iteración del método numérico usado

La iteración comienza suponiendo una Z de 1, que equivale a decir que la mezcla de gases se comporta como la ecuación de gas ideal propone, con este valor se calcula el valor de f(z) y su derivada, la nueva "Z" se obtiene restándole al valor de la Z el cociente de f(z)/f'(z), mientras que el error se obtiene como $(Z_{n+1}-Z_n)/Z_n$, cuando éste sea menor a la tolerancia, se toma el valor correspondiente de Z. Para fines de cálculo, se hicieron 20 iteraciones y se observa que la última Z tiene un error de 1.2488×10^{-16} lo que se considera adecuado.

Haciendo los cálculos según lo antes explicado, la masa contendida de hidrocarburos

es de 44.710ton que en caso de una ruptura catastrófica de la contención del recipiente se emitirían al aire.

Con este dato como base se puede estimar la magnitud de una explosión, la zona afectada, si ésta afectaría a otros equipos y/o pudiera causar otras explosiones etc.

Tabla 5.4.1. Actividades de prevención de la contaminación en sustancias RETC

En esta tabla, se debe capturar la información sobre lo que se hace para evitar la contaminación de sustancias RETC, no se requieren cálculos, solo se debe reportar la información de las actividades de prevención realizadas, a continuación se muestra un ejemplo de una hoja de cálculo para hacerlo.

Ejemplo 5.4.1-1. Actividades de prevención de la contaminación en una empresa que trata sus propios RPs

Para este caso, supóngase que una instalación que maneja hidrocarburos (como el sistema de manejo de combustible para vehículos de una empresa) está haciendo un esfuerzo por disminuir las emisiones de hidrocarburos proveniente de las fuentes del proceso (válvulas, sellos, bridas etc.) de corrientes y de zonas de almacenamiento, los esfuerzos incluyen la implementación de buenas prácticas de operación (BO), instalación de bombas sin sellos, instalación de sistemas de venteo cerrado (PDF), válvulas de ultra bajas emisiones (PDF) e instalación de tanques de techo flotante para almacenar el producto con sistema de venteo cerrado (PDF). Las zonas en donde se llevan a cabo estas medidas son el proceso productivo (PP) y la granja de almacenamiento de producto (PR). La siguiente figura muestra un fragmento de una hoja de cálculo con la información que se debe de ingresar a la COA en la tabla 5.4.1.

Nombre del material que contiene la sustancia RETC	Nombre de la sustancia RETC contenida	Clave o # CAS	Edo Físico	Actividades de prevención	Área de aplicación
Lineas de HC líquido ligero (gasolina)	Fenol	108-95-2	LN	BO, PDF	PP; PR, TP,
Lineas de HC líquido ligero (gasolina)	Benceno	71-43-2	LN	BO, PDF	PP; PR, TP,
Lineas de HC líquido ligero (gasolina)	Bifenilo	92-52-4	LN	BO, PDF	PP; PR, TP,

Figura 76. Imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora para almacenar la información sobre las actividades de prevención de la contaminación

Tabla 5.4.2. Reutilización, reciclado, co-procesamiento, tratamiento, incineración y control de sustancias dentro del establecimiento y/o disposición final

Continuando con la prevención de la contaminación, esta tabla se captura en caso de que el establecimiento haya realizado el manejo de sustancias RETC (contenidas en

RPs) y/o el control de las emisiones de sustancias RETC; para este caso, se parte de la información de las cantidades de sustancia RETC que se reutilizaron, reciclaron, co-procesaron, trataron, incineraron, que se controlaron dentro del establecimiento y/o confinaron para su disposición final.

El manejo de sustancias RETC (contenidas en los RP), es comúnmente reportada por empresas que presentan servicios de manejo de residuos, y en ocasiones por las generadoras que manejan sus propios residuos.

Es conveniente que las empresas que prestan servicios a terceros, soliciten a éstos la información respecto a la cantidad de sustancias RETC contenida en el residuo peligroso que están recibiendo para el manejo correspondiente (reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento, incineración y/o disposición final), si es que no la pueden determinar por ellos mismos.

En caso de que el establecimiento cuente con alguna actividad de prevención (tabla 5.4.1), que al aplicarla disminuya las emisiones y/o transferencias por debajo del umbral de emisión (por ejemplo, una empresa que cambie a insumos que contengan una menor cantidad de sustancias RETC), entonces el contaminante RETC se reporta en la tabla 2.3 y en la tabla 5.6 se debe de hacer la aclaración pertinente.

Ejemplo 5.4.2-1. Actividades de prevención de la contaminación en una empresa que trata sus propios RPs

Supóngase que se tienen dos residuos de alquitrán derivados de los procesos productivos llevados a cabo, los cuales son considerados, en principio como RPs, por sus características, pero recientemente se ha adecuado el proceso para coprocesarlo e integrar una parte de éste a la producción de arrabio, supóngase también que, por alguna razón, estos alquitranes contienen una pequeñísima cantidad de níquel y compuestos de éste. El hecho se reportaría como se muestra en la siguiente figura.

nombre del RP o material	Cantidad anual	Unidad	Manejo	Nombre de la sustancia RETC contenida	Clave o #CAS	%W de la sustancia RETC	Cantidad anual	Unidad	Clave del método	Eficiencia estimada
Alquitrán de proceso 1	100	ton	reutilización	Níquel y sus compuestos	S/C5	4.55E-03	4.55	kg	CP2	70%
Alquitrán de proceso 2	100	ton	reutilización	Níquel y sus compuestos	S/C5	5.35E-03	5.35	kg	CP2	95%

Figura 77. Imagen de la hoja de cálculo con el formato de la tabla 5.4.2 y con información de las actividades de prevención de la contaminación a reportar

El detalle de los cálculos no es el objetivo de este ejemplo, sino mostrar la forma de reportar la COA en este escenario, a continuación se da un panorama completo.

La generación de residuos, en este caso 100ton de cada alquitrán, se reportan en la tabla 4.1 de la COA, las toneladas “manejadas” en el mismo establecimiento, en este

caso “reutilizadas”, correspondientes a 70 y 95 toneladas se reportan en la tabla 4.3, las 30 y 5 toneladas respectivamente que a final del año de reporte continuaron siendo residuos (no se reutilizaron) y que salieron de la instalación, se deben de reportar en la segunda parte de la tabla 4.1, la tabla 4.2 también debe de contener información sobre el almacenamiento de este residuo conforme este ocurrió en el año (muy probablemente no se juntaron las 200 toneladas antes de iniciar la reutilización).

Las sustancias RETC (en este caso el Ni) contenidas en las toneladas de alquitrán que se produjeron (las 200 toneladas) deben de reportarse en la tabla 5.1 ya que pasan del umbral de uso de 5kg entre ambas, (9.9kg).

El metal producido se reporta como producto en la tabla 1.3. El Ni (8.2675kg provenientes de los alquitranes) que se integra a un producto de metal como el acero, no se reporta en la tabla 5.1 ya que forma parte integral del material y no representan riesgo ambiental³. En estos casos, una nota en el apartado de “observaciones” es útil para aclarar casos como éste.

Las sustancias RETC que corresponden a la masa de alquitranes que salió del establecimiento se reportan en la tabla 5.2 (35kg con 1.6325kg de Ni y compuestos de éste que pasan el umbral de emisión de un kg) como transferencia, indicando que manejo recibieron.

No olvidar que para el reporte de todas las sustancias RETC, hay que tomar en cuenta las emisiones totales de éstas generadas en el sitio, como se indica en la metodología 5.2.

Nota 1: El reporte de la tabla 4.3 se hace como se indica en punto 2 de las “Consideraciones especiales para el llenado de la tabla 4.3” de este mismo documento ya que para este caso se considera que es una empresa generadora que trata sus propios residuos.

Nota 2: Hay ocasiones en los que un residuo que se considera “peligroso” se desclasifica como tal cuando surge un proceso que lo utiliza como insumo o materia prima, estos casos se tratan directamente con la SEMARNAT.

Nota 3: Este ejemplo es un supuesto que se agrega para hacer notar este detalle, el níquel y sus compuestos representan un impacto ambiental solo si se emiten, al aire, agua, suelo, como RP y si están en cierta forma química (iones, ciertas sales que son tóxicas etc.) cuando se encuentra como metal metálico (valencia “0”) entonces es inerte (como en subproducto recuperado del ejemplo), tal y como es el caso del Ni presente en aleaciones de hierro y acero.

En otros casos en donde la sustancia RETC, “Ni” para este ejemplo, esté en una forma química de riesgo, sea susceptible de transformarse en una y pueda pasar al aire, agua, suelo etc. si se debe considerar como tal. Por ejemplo, si el níquel estuviera presente en el combustible formulado, a la hora de usarlo, el níquel pasaría

(como ion y en partículas) a la atmósfera, al agua si se tuviera un lavador de gases, quedaría parte de éste en las cenizas (residuo) que pudiera lixiviarse etc.

Tabla 5.5. Tratamiento y/o disposición de sustancias RETC por prestadores de servicio

Esta tabla solo debe de ser reportada por empresas prestadoras de servicios de manejo de RP y/o aguas residuales (de terceros), que contengan sustancias RETC, por lo general, las empresas generadoras contratan a estas compañías para hacer lo propio con sus residuos.

El prestador de servicios (empresa tratadora), deberá reportar la cantidad de sustancia RETC recibida a través de los residuos peligrosos o agua residual. Es conveniente que el generador del RP o del agua residual, proporcione información al prestador de servicios respecto a las cantidades de sustancias RETC que le está transfiriendo si es que la empresa tratadora no los puede identificar por sí misma.

Como se puede observar, para reportar esta tabla, sólo se requiere recopilar información para proceder a su captura directa, se llena de manera similar a la 5.1, solo que en ella nada más se piden los contenidos de sustancias RETC, no la masa original del residuo que los contiene (como en la 4.1) ni él % de composición correspondiente a cada sustancia RETC, la información de esta tabla es complementaria a la de la 5.4.2 y deben de ser congruentes.

Dado que la información de las tablas 5.5 y 5.4.2 tienen relación, los cálculos se pueden elaborar juntos en una hoja de cálculo, (de ser necesario) y capturar en cada tabla lo que se pide, a continuación se muestra un ejemplo que aplica para empresas tratadoras de residuos (propias del sector de RPs, no del de metal y metalurgia) para poder reportar ambas tablas.

Ejemplo 5.5-1. Reporte de las actividades de prevención y manejo (tabla 5.4.2) de la contaminación y tratamiento o disposición final de sustancias RETC por prestadores de servicio (tabla 5.5 empresas tratadoras de RPs)

En la siguiente figura, se ve un fragmento de una hoja de Excel utilizada como bitácora para reunir la información solicitada y hacer los cálculos correspondientes, ésta se partió para mejorar la visibilidad, los títulos en azul son los campos solicitados por la tabla 5.5, los que están en verde los pide la 5.4.2, los negros los solicitan ambas y los campos en rojo fueron agregados para fines del ejemplo y representan, de alguna manera aquellos que adiciona, por conveniencia, la persona encargada de hacer el reporte de la COA.

# de autorización de la empresa tratadora de RPs	Identificación del generador	Nombre del RP o material que contiene la sustancia RETC	Masa total del RP	Unidad	Nombre de la sustancia RETC contenida	Clave o # CAS de la sustancia RETC
TREPESA de México	TREPESA de México	Gases de combustión IN1	6.77E+23	ng	Dioxinas	S/C10
TREPESA de México	TREPESA de México	Gases de combustión IN1	6.77E+23	ng	Furanos	S/C11
TREPESA de México	QUIMITEC SA de SL	Aguas con residuos crómicos	9.71E+06	L	Cr+6	S/C3
TREPESA de México	Pinturas INT	Mezcla de solventes	2.26E+04	kg	1-1-1 Tricloroetano	71-55-6
TREPESA de México	Automotriz del valle	Aguas de lavado	4.85E+04	L	Ni	S/C5
TREPESA de México	Automotriz del valle	Aguas de lavado	4.85E+04	L	Hg	S/C4
TREPESA de México	TREPESA de México	Residuos de solventes no separables	2.00E+04	L	1-1-1 Tricloroetano	71-55-6

Fracción, conc etc S. RETC en RP	Unidad	Cantidad anual de la S. RETC	unidad	Modalidad de manejo	Cantidad anual eliminada	Unidad	Eficiencia %	RETC que queda	Unidad	Manejo residuo de trat
1.53E-17	F. peso	10,340,000	ng	Control de EA	10,338,966	ng	99.990%	1,034	ng	Emisión A
1.53E-17	F. peso	10,340,000	ng	Control de EA	10,338,966	ng	99.990%	1,034	ng	Emisión A
0.0585	mg/L	567,890	mg	Red química	556,532	mg	98.000%	11,358	mg	Emisión H2O
0.12	F. peso	2,708	kg	Recuperación	2,573	kg	95.000%	135	kg	Incineración
0.12	mg/L	5,815	mg	Ad. de metales	5,771	mg	99.250%	44	mg	Emisión H2O
0.238	mg/L	11,533	mg	Ad. de metales	11,261	mg	97.647%	271	mg	Emisión H2O
6.77E-03	F. peso	135	kg	Incineración	135	kg	100.000%	0	kg	Control de EA

Figura 78. Imagen de la hoja de cálculo usada como bitácora para registrar la información a reportar de las actividades de prevención y manejo de la contaminación y del tratamiento y disposición final de sustancias RETC mediante prestadores de servicio

La empresa tratadora en lugar de poner su número de autorización se identifica con su nombre “TREPESA de México” (mejor inventar un nombre que un número), en las dos primeras filas se observa que esta empresa está tratando sus propios residuos generados, que para este caso son gases de combustión provenientes de su incinerador, la sustancias RETC reportadas en este caso son dioxinas y furanos.

Se decidió usar nanogramos para poder tener la misma en todos los cálculos aunque puede variar según se quiera, el programa de reporte de la COA acepta hasta miligramos en las tablas 5.4.2 y 5.5 (aunque en la tabla 2.2 acepta ng/m³), la fracción en peso del contenido de dioxinas se obtuvo del laboratorio y la eficiencia de remoción del equipo de control de emisiones de ingeniería (para este ejemplo), que es del 99.99%, haciendo el cálculo se tiene: 6.77×10^{23} ng de gases de combustión generados durante el año, por 1.53×10^{-17} en fracción peso, se obtiene una masa de 10,338,966 ng para dioxinas, el mismo procedimiento se utiliza para el cálculo de los furanos, de ambos, el sistema de control elimina el 99.99%, haciendo la correspondiente multiplicación se tiene 1,034 ng para las dioxinas y 826 para los furanos, mismos que salen como emisión al aire, contenidos en los gases de combustión, los 1,034 ng de dioxinas y los 826 ng de furanos se deben de reportar en la sección 5.2 también, no en la 2.3 ya que estos contaminantes se reportan, para efectos del RETC desde cualquier cantidad.

Para los residuos crómicos, tratados por reducción química se hace exactamente el mismo procedimiento, la cantidad de Cr⁺⁶ se expresa como concentración pero el

cálculo se sigue haciendo de la misma manera, posiblemente el usuario quiera agregar celdas para ver la concentración de la corriente de salida (emisión líquida o descarga de agua) para verificar que se cumple con la norma y reportarla en la tabla 3.2.3, esta emisión, también se tiene que reportar en la tabla 3.2.3.

Para la mezcla de solventes se procede de igual forma, obteniendo un producto que es 99.9% 1-1-1 Tricloroetano y que tiene valor comercial, éste incluye los 2573kg recuperados de esta sustancia, mismos que se deben de reportar en la tabla 1.3 y en la 5.1 se debe de reportar 2570kg (2573 por 99.9/100) pues se rebasó el umbral de uso (2,500kg) y la composición del producto es cercana de 99.9%, el residuo que queda después de la separación de la mezcla de solventes (suponga que para este caso ya no tienen valor) se envía a incineración en la misma instalación.

Para las aguas de lavado de la empresa “Automotriz del valle” se tienen básicamente 2 sustancias RETC a remover, el Ni y el Hg por adsorción de metales, el cálculo se hace con el mismo procedimiento que los otros casos, tal vez, igual que para el caso de los residuos de la empresa “QUIMITEC SA de SL” sea adecuado calcular las concentraciones de las corrientes de salida (emisiones líquidas o descargas de agua) para asegurarse que se cumple con la norma y para reportarlas en la sección 3.2.3 al igual que la emisión final de estos contaminantes que es de 44 y 271mg de Ni y Hg respectivamente.

Finalmente el último residuo a tratar es el generado por el tratamiento de la separación de solventes, solo para fines de este ejemplo se envió a incineración, como todo el residuo será “destruido” la eficiencia es del 100% aunque dentro de la lista tendrá que figurar, además de los gases de combustión, manifestados aquí y en la tabla 5.2, las cenizas que quedan, si no reciben tratamiento o confinamiento final en la instalación, deberá especificarse su transferencia a otra instalación en la sección 4.1.

Ahora, solo para afinar el reporte, las dos primeras filas corresponden a la tabla 5.4.2 porque son acciones de minimización o prevención de la contaminación, las otras corresponden a la tabla 5.5 porque son RPs de 3ros, los campos en negro corresponden a ambas tablas (la 5.4.2 y la 5.5), los que están en azul a la 5.5 y las que están en verde a la 5.4.2.

Si para el caso de las entradas a las tablas 5.5 y 5.4.2 que también correspondan a las tablas 2.3 y 3.2.3 se diera uno de los supuestos de la metodología 5.2 entonces se deberá hacer lo que corresponda, es decir, dejarlos en esas tablas sí no se iguala o rebasa el umbral de transferencia o emisión o moverlos a la 5.2 si es el caso (por cada emisión o transferencia en sí misma o con la suma de éstas a diferentes medios y en RPs, se recomienda ver la metodología antes referida).

Puesto que esta empresa tiene medidas que reducen (o previenen) la contaminación, la información de cómo es que lo hacen se debe de capturar en la tabla 5.4.1 también, especificando el material que contiene la sustancia RETC, el nombre y #Cas o de serie de esta, el estado físico que tiene, las actividades de prevención y

las aéreas en donde han sido aplicadas, así para el caso de la primera fila, se tienen gases de combustión que contienen dioxinas cuya clave es S/S10 en estado gaseoso y con un sistema de poscombustión y enfriado rápido de gases para reducir en un 99.99% la emisión de estos compuestos al aire que se pueden clasificar como “otros: equipo de control de emisiones al aire”.

Tabla 5.6. Razones de los cambios en emisiones y/o transferencia de sustancias

En esta tabla, se reporta el porqué de los cambios en las emisiones o transferencias de sustancias RETC de un año de actividades con respecto a otro. Siempre que las cantidades de emisiones o transferencias tengan una diferencia del 10%, deberá de indicar cuál fue la razón del incremento o disminución de las cantidades manifestadas, lo anterior es un complemento a la información capturada en las otras secciones.

ANEXO I

FACTORES DE EMISIÓN DEL SECTOR

Como ya se ha visto, los factores de emisión constituyen una herramienta muy útil para la estimación de emisiones de contaminantes. Esta información es frecuentemente generada por las empresas productivas en colaboración con alguna autoridad (o solas en algunos casos).

En esta parte del documento se resumen los factores de emisión encontrados y aplicables para este sector.

Minería de metales (en general)

Recuadro 37. Factores de emisión para operaciones de minería de metales en general (todo en lb/ton de mena procesada). Tomado de (USEPA, 1982)

Operación	Contaminante	Sistema de control	FE	Notas	Calidad
Triturado primario: mena de baja humedad	PM, filtrable	S/C	0.50	1	C
Triturado primario: mena de baja humedad	PM10, filtrable	S/C	0.05	1	C
Triturado secundario: mena de baja humedad	PM, filtrable	S/C	1.20	1	D
Triturado terciario: mena de baja humedad	PM, filtrable	S/C	2.70	1	E
Triturado terciario: mena de baja humedad	PM10, filtrable	S/C	0.16	1	E
Manejo de material: mena de baja humedad	PM, filtrable	S/C	1.10	2	C
Manejo de material: mena de baja humedad	PM, filtrable	S/C	0.12	2	C
Manejo de material: mena de baja humedad	PM10, filtrable	S/C	0.06	2	C
Triturado primario: mena de alta humedad	PM, filtrable	S/C	0.02	1	C
Triturado primario: mena de alta humedad	PM10, filtrable	S/C	0.01	1	C
Triturado secundario: mena de alta humedad	PM, filtrable	S/C	0.05	1	D
Triturado secundario: mena de alta humedad	PM10, filtrable	S/C	0.02	1	D
Triturado terciario: mena de alta humedad	PM, filtrable	S/C	0.06	1	E
Triturado terciario: mena de alta humedad	PM10, filtrable	S/C	0.02	1	E
Manejo de material: mena de alta humedad	PM, filtrable	S/C	0.01	2	C
Manejo de material: mena de alta humedad	PM10, filtrable	S/C	0.00	2	C
Molienda seca con transporte neumático	PM, filtrable	S/C	28.80	5	C

Operación	Contaminante	Sistema de control	FE	Notas	Calidad
Molienda seca con transporte neumático	PM10, filtrable	S/C	26.00	5	C
Molienda seca sin transporte neumático	PM, filtrable	S/C	2.40	5	D
Molienda seca sin transporte neumático	PM10, filtrable	S/C	0.31	5	D
Secado de mena	PM, filtrable	S/C	19.70	3	C
Secado de mena	PM, filtrable	Ciclones múltiples	0.50	6	C
Secado de mena	PM10, filtrable	S/C	12.00	4	C

Nota 1: Basado en el material cargado en el primer triturador.

Nota 2: Basado en el peso del material transferido.

Nota 3: Con baja o alta humedad, todos los minerales excepto aquellos de arenas de Ti/Zr. Basado en el peso del material que sale del secador.

Nota 4: Con alta o baja humedad, todos los minerales excepto aquellos de Ti y Zr.

Nota 5: Con baja o alta humedad, basado en el peso del material cargado en el molino.

Nota 6: Con baja o alta humedad para minerales de Ti y Zr. Basado en el peso del material que sale del secador.

Minería de carbón

El AP42 en su sección 11.9 “West surface Coal Mining” (USEPA, 1998c) presenta una serie de ecuaciones y (ajustes a éstas) que sirven para estimar la emisión de partículas suspendidas en diferentes operaciones, se sugiere al lector leer dicho documento ya que el uso de este tipo de factores de emisión requiere de entender bien el contexto y detalles de los cálculos para evitar errores. Esta sección del AP42 se hizo para la minería a cielo abierto de carbón (bituminoso, sub bituminoso, lignito) practicada en los yacimientos de los estados del oeste de los Estados Unidos de América, sin incluir los que tienen costa en el pacífico, por lo que se adapta a las características propias de esta zona que no necesariamente van a coincidir con las existentes en otras partes del mundo. Queda en el lector determinar si la herramienta presentada es adecuada para su caso.

Peletizado (para siderúrgica)

Recuadro 38. Intervalos de composición de emisiones de gases de plantas de peletizado (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ⁴	Valor
Polvos	g/ton de pellets	20 a 130
Cd	mg/ton de pellets	0.02 a 0.4
Cr	mg/ton de pellets	1 a 4.4
Cu	mg/ton de pellets	1.7 a 7.5
Hg	mg/ton de pellets	<0.1 a 0.4
Mn	mg/ton de pellets	8 a 38
Ni	mg/ton de pellets	5 a 25
Pb	mg/ton de pellets	3 a 130
Tl	mg/ton de pellets	n/d
V	mg/ton de pellets	21 a 150
Zn	mg/ton de pellets	2.4 a 110
HF	g/ton de pellets	0.8 a 39
HCl ⁵	g/ton de pellets	2 a 48

Salida	Unidad ⁴	Valor
NO _x ⁵	g/ton de pellets	18 a 250
SO _x ⁶	g/ton de pellets	120 a 510
CO	g/ton de pellets	<10 ⁴ a 410
CO ₂	kg/ton de pellets	15.6 a 31.8
Compuestos orgánicos volátiles ⁷	g/ton de pellets	<5 ⁴ a 40 ³
Com. aromáticos poli cíclicos ⁸	g/ton de pellets	0.19
Dioxinas y furanos ⁴	µg I-TEQ/ton de pellets	0.0057

Nota 5. Valor bajo si se aplican técnicas de remoción de ácidos del gas.

Nota 6. Valor bajo si se aplican técnicas de desulfuración del gas.

Nota 7. No se tienen el detalle de la técnica utilizada para hacer las mediciones.

Nota 8. El detalle si se utilizó/aplicó Borneff 6, EPA 16 o venzo pireno no se conoce.

Nota 9. Suma de EPA 16, calculada por Borneff 6.

Coquizado (para siderúrgica principalmente)

Recuadro 39. Intervalos de composición de emisiones de gases de plantas de coque (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ³	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	17 a 75 ¹
SO _x	g/ton de acero líquido	27 a 950 ⁵
NO _x	g/ton de acero líquido	230 a 600 ¹
NH ₃	g/ton de acero líquido	0.8 a 3.4
H ₂ SO ₄	g/ton de acero líquido	0.7 ⁶
HCN	g/ton de acero líquido	0.02 a 0.4
H ₂ S	g/ton de acero líquido	4 a 20 ¹
CO	g/ton de acero líquido	130 a 1,500 ¹
CO ₂	kg/ton de acero líquido	175 a 200
CH ₄	g/ton de acero líquido	27 ⁷
Compuestos orgánicos volátiles	g/ton de acero líquido	4 a 8 ⁸
Benceno	g/ton de acero líquido	0.3 a 15 ⁹
Compuestos aromáticos poli cíclicos	mg/ton de acero líquido	170 a 500 ^{11 y 12}

Nota 1: En el caso de la producción de pellets para reducción directa.

Nota 3: Los factores de conversión utilizados (promedios ponderados para plantas en toda Europa), 358kg de coque por tonelada de arrabio, 940kg de arrabio por tonelada de acero crudo. (el acero líquido es el acero crudo).

Nota 5: Valor alto en el caso de gas de coque sin desulfurizar, para el gas de coque desulfurizado los valores son 27 a 300g/ton de acero líquido, el valor alto es para desulfuración insuficiente.

Nota 6: En el caso de la absorción de SO₂ generando H₂SO₄ como subproducto.

Nota 7: Solo se obtuvo información de una sola planta.

Nota 8: No incluyen el metano.

Nota 9: Valor bajo para plantas menores a 5 años.

Nota 10: Según EPA 16.

Nota 11: Solo se obtuvo información de dos plantas.

Nota 12: En el caso de la absorción de SO₂ con licor de amonio.

Nota 13: En el caso de absorción de SO₂ y recuperación de azufre elemental.

Alto horno (siderúrgicas)

Recuadro 40. Intervalos de composición de emisiones de gases de altos hornos, estas no incluyen la combustión del gas de alto horno en otras plantas (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ⁸	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	10 a 50
Mn	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.13
Ni	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.02
Pb	g/ton de acero líquido	<0.01 a 0.12
SOx	g/ton de acero líquido	20 a 230
NOx	g/ton de acero líquido	30 a 120
H ₂ S	g/ton de acero líquido	0.2 a 20
CO	g/ton de acero líquido	770 a 1,750
CO ₂	g/ton de acero líquido	280 a 500
Dioxinas y furanos	µg I-TEQ/ton de acero líquido	<0.001 a 0.004

Nota 8: El factor de conversión usado (promedio ponderado en todos los altos hornos de la unión europea) es de 940kg de arrabio por tonelada de acero líquido (acero crudo).

Nota 9: Puede ser mayor en el caso de usar materias primas con alto contenido de sal.

Granulación de escoria alto horno (siderúrgica)

Recuadro 41. Valores de emisión del agua de desecho de una planta de granulación de escoria (BREF, 2001a)

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo típico	1.96	m ³ /ton
Pb	3.92	mg/ton de arrabio
Cr	3.92	mg/ton de arrabio
Cu	8.232	mg/ton de arrabio
Zn	39.2	mg/ton de arrabio
Ni	5.88	mg/ton de arrabio
COT	8.036	g/ton de arrabio
DQO	39.788	g/ton de arrabio

Horno Básico de Oxígeno (siderúrgica)

Recuadro 42. Intervalos de composición de emisiones de gases durante la elaboración de acero, vía BOF, estas no incluyen la combustión del gas de BOF (BREF, 2001a)

Salida	Unidad ³	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	15 a 80
Cr	g/ton de acero líquido	0.01 a 0.36 ⁶
Cu	g/ton de acero líquido	0.01 a 0.04 ⁶
Pb	g/ton de acero líquido	0.13 a 0.9 ⁶
Mn	g/ton de acero líquido	<0.01 a 1.2 ⁶
NOx	g/ton de acero líquido	5 a 20
CO	g/ton de acero líquido	1500 a 7960
CO ₂	kg/ton de acero líquido	11.2 a 140 ⁷
Compuestos aromáticos policíclicos	mg/ton de acero líquido	0.08 a 0.16 ⁸
Dioxinas y furanos	µg I-TEQ/ton de acero líquido	0.001 a 0.06

Nota 3: Este acero líquido es el que forma parte de productos como planchones, tochos, etc.

Recuadro 43. Resumen de residuos sólidos o subproductos generados a partir de la elaboración de acero vía BOF (BREF, 2001a)

Residuo o subproducto sólido	Cantidad producida kg/ton de acero líquido
Escoria de desulfuración	2 a 25
Escoria de BOF	100 a 130
Material perdido en operación (spittings)	4 a 10
Polvos gruesos y lodos del tratamiento del gas de BOF	3 a 12
Polvos finos y lodos del tratamiento del gas de BOF	9 a 15
Polvos capturados	0.2 a 3
Escoria de metalurgia secundaria	2 a 16
Escoria de colada continua	4 a 5
Residuos de colada continua	1.2 a 6
Cascajo	0.8 a 6

Horno de arco eléctrico (siderúrgicas)

Recuadro 44. Intervalos de composición de emisiones de gases durante la elaboración de acero, vía EAF, estas no incluyen la combustión del gas de EAF (BREF, 2001a)

Salida	Unidad	Valor
Polvos	g/ton de acero líquido	1 a 780 ⁴
Hg	mg/ton de acero líquido	6 a 4,470 ⁵
Pb	mg/ton de acero líquido	16 a 3,600 ⁶
Cr	mg/ton de acero líquido	8 a 2,500 ⁶
Ni	mg/ton de acero líquido	1 a 1,400 ⁶
Zn	mg/ton de acero líquido	280 a 45,600 ⁶
Cd	mg/ton de acero líquido	<1 a 72 ⁶
Cu	mg/ton de acero líquido	<1 a 460 ⁶
HF	mg/ton de acero líquido	<700 a 4,000 ⁶
HCl	mg/ton de acero líquido	800 a 9600 ⁶
SO ₂	g/ton de acero líquido	24 a 130 ⁶
NO _x	g/ton de acero líquido	120 a 240 ⁶
CO	g/ton de acero líquido	740 a 3,900 ⁶
Compuestos orgánicos totales	gC/ton de acero líquido	16 a 130 ⁶
Benceno	mg/ton de acero líquido	170 a 4,400 ⁶
Clorobencenos	mg/ton de acero líquido	3 a 37 ⁶
Compuestos aromáticos poli cíclicos	mg/ton de acero líquido	3.5 a 71 ⁷
Bifenilos policlorados	mg/ton de acero líquido	1.5 a 4.5 ⁷
Dioxinas y furanos	µg I-TEQ/ton de acero líquido	0.07 a 9 ⁶

Nota 3: El cálculo se hizo tomando como base 8,000Nm³/ton de acero líquido pero en la práctica se pueden tener flujos desde 6,000 a 16,000 Nm³/ton de acero líquido, lo que se tiene que considerar si se quieren usar los datos como referencia o como factor de emisión. (TWG for I&S., 1998).

Nota 4: De acuerdo con el estudio realizado (Roederer, C. Gourtsoyannis, L., 1996), el promedio y la desviación estándar de emisiones de polvos (primarias y secundarias) de 38 plantas es 124 más menos 166g/ton de acero líquido, las plantas con filtros de bolsas bien diseñados llegan a niveles de emisión de <20g de polvo por tonelada de acero líquido, la emisión de metales pesados esta directamente correlacionada con el contenido de partículas en el gas residual.

Nota 5: Las emisiones de Hg varían mucho de una carga a otra y de una siderúrgica a otra (se tomaron datos de plantas en Alemania, Dinamarca y Suiza).

Nota 6: Los datos provienen de diferentes plantas de países de la unión europea, algunos datos son de estudios diferentes, consultados por el grupo técnico de trabajo que dio apoyo a la elaboración de los documentos de referencia de las mejores técnicas disponibles en la industria siderúrgica.

Nota 7: Suma según EPA 16.

Recuadro 45. Resumen de residuos sólidos o subproductos generados a partir de la elaboración de acero vía EAF (BREF, 2001a)

Residuo o subproducto sólido	Cantidad producida kg/ton de acero líquido (aceros al carbón y de baja aleación)	Cantidad producida kg/ton de acero líquido (aceros de alta aleación)
Escoria del EAF	100 a 150	100 a 135
Escoria de metalurgia secundaria	10 a 30	30 a 40
Escoria de metalurgia secundaria (desgasado con argón y oxígeno)		Hasta 160
Polvos colectados	10 a 20	
Ladrillos refractarios	2 a 8	2 a 8
Ruido (dB)	90 a 125	90 a 125

Reducción del hierro durante la fusión (Smelting reduction)

Recuadro 46. Consumos, emisiones y subproductos del proceso COREX, obtenidas de una planta en Pretoria, África del Sur, (Kreulitsch, 1994) en (BREF, 2001a)

	Unidad	Usando mena en terrones	Usando pellets
Capacidad de fundición	ton AL/h	45	53
Consumo de carbón	kg/ton de AL	1,080	1,000
Consumo de carbón fijo	kg/ton de AL	615	570
Consumo de O ₂	Nm ³ /ton de AL	540	500
Escoria producida	kg/ton de AL	450	300
Gas de SF	Nm ³ /ton de AL	1,750	1,710
Emisión de polvos	g/ton de AL	39 a 139	39 a 139
Emisión de SO ₂	g/ton de AL	26 a 333	26 a 333
Emisión de NOx	g/ton de AL	21 a 33	21 a 33
Consumo de energía	GJ/ton de AL	17	17

Siderúrgicas (varias etapas consideradas)

Recuadro 47. Factores de emisión para partículas emitidas en diversas etapas de la producción de hierro y acero (siderúrgicas). Tomado de (USEPA, 1986c)

Etapas	FE	Unidad	Calidad
Sinterizado			
-Generadores de ráfaga (windboxes)			
--Sin control			
---Reja de salida	5.56	kg/Mg de sinterizado	B
---Después de la remoción de partículas gruesas	4.35	kg/Mg de sinterizado	A
--Con precipitador electrostático seco	0.8	kg/Mg de sinterizado	B
--Con precipitador electrostático húmedo	0.085	kg/Mg de sinterizado	B
--Con un lavador venturi	0.235	kg/Mg de sinterizado	B
--Con un ciclón	0.5	kg/Mg de sinterizado	B
-Descarga de sinterizado			
--Sin control	3.4	kg/Mg de sinterizado	B
--Con filtro de casa de bolsas	0.05	kg/Mg de sinterizado	B
--Con lavador venturi	0.295	kg/Mg de sinterizado	A
-Generadores de ráfaga y descarga			
--Con filtro de casa de bolsas	0.15	kg/Mg de sinterizado	A
Alto horno			
-Slip (oleada de presión liberada por colapso de cavidades en la carga del alto horno)	39.5	kg/Mg slip	D
-Zona de vertido sin control			
--Monitor de techo ²	0.3	kg/Mg de metal caliente líquido	B

Etapa	FE	Unidad	Calidad
-Horno con evacuación local ^C	0.65		B
-Hoyo de evacuación o piquera (no "runners")	0.15	kg/Mg de metal caliente líquido	B
Desulfuración del metal caliente			
-Sin control	0.55	kg/Mg de metal caliente líquido	D
-Con filtro de casa de bolsas	0.0045	kg/Mg de metal caliente líquido	D
Horno básico de oxígeno (BOF, inyección superior)			
-Sin control ⁴	14.25	kg/Mg de metal caliente líquido	B
-Con control de cubierta abierta venteada a			
--Precipitador electrostático	0.065	kg/Mg de metal caliente líquido	A
--Lavador	0.045	kg/Mg de metal caliente líquido	B
-Con control de cubierta cerrada venteada a			
--lavador	0.0034	kg/Mg de metal caliente líquido	A
-Carga del BOF			
--En la fuente	0.3	kg/Mg de metal caliente líquido	D
--En el monitor del edificio (con filtro de casa de bosas)	0.071	kg/Mg de metal caliente líquido	B
--Con filtro de casa de bolsas	0.0003	kg/Mg de metal caliente líquido	B
-Vaciado en cuchara			
--En la fuente	0.46	kg/Mg de acero	D
--En el monitor del edificio (con filtro de casa de bosas)	0.145	kg/Mg de acero	B
--Con filtro de casa de bolsas	0.0013	kg/Mg de acero	B
-Transferencia		kg/Mg de metal caliente líquido	
--En la fuente	0.095	kg/Mg de metal caliente líquido	A
-En el monitor del edificio (todas las fuentes)	0.028	kg/Mg de metal caliente líquido	B
BOF (inyección superior) todas las fuentes, en monitor	0.25	kg/Mg de acero	B
Horno básico de oxígeno (inyección por la parte inferior)			
-Con lavador	0.028	kg/Mg de acero	B
Horno de arco eléctrico (EAF)			
-Fundición y refinado de acero al carbón	19.0	kg/Mg de acero	C
-Carga, vaciado, des escoriado sin control (monitor)	0.7	kg/Mg de acero	C
-Fundición, refinado, carga, vaciado, des escoriado			
--Sin control			
---Aleación de acero	5.65	kg/Mg de acero	A
---Acero al carbón	25	kg/Mg de acero	C
--controlado por ⁵			
---Evacuación vía edificio hacia casa de filtros de bolsas (aleación)	0.15	kg/Mg de acero	A
---Evacuación directa de la coraza, venteada a una casa de filtros de bolsas común (para acero al carbón)	0.0215	kg/Mg de acero	E

Etapa	FE	Unidad	Calidad
Horno de corazón abierto			
-Fundido y refinado			
--Sin control	10.55	kg/Mg de acero	D
--con precipitador electrostático	0.14		D
-Monitor de techo	0.084	kg/Mg de acero	C
Vaciado (en moldes), colada (teeming)			
-Acero con plomo			
--Sin control	0.405	kg/Mg de acero	A
--Con cubierta con salida lateral venteada a una casa de filtros de bolsa	0.0019	kg/Mg de acero	A
-Acero sin plomo			
--Sin control (medido en la fuente)	0.035	kg/Mg de acero	A
--Con cubierta con salida lateral venteada a una casa de filtros de bolsa	0.0008	kg/Mg de acero	A
Limpieza de superficie			
-Sin control	0.05	kg/Mg de acero	B
-Con precipitador electrostático	0.0115	kg/Mg de acero	A
Otras fuentes⁶			
-Calentadores, pozo de inundación, recalentado de planchones			
--Gas de alto horno ⁷	0.015	Kg/J	D
--Gas de horno de coque ⁷	0.0052	Kg/J	D

Nota 2: Típico para hornos viejos sin sistemas de control, o para campanas con dorsal para la evacuación total de la zona de vertido.

Nota 3: Típico de hornos nuevos y grandes con campanas y corredores cubiertos, las emisiones son mas concentradas que sin sistemas de captura porque no se diluyen con el aire ambiental.

Nota 4: El factor de emisión de 0.55kg/Mg es representativo de un carro torpedo, 1.26kg/Mg para dos carros torpedo y 1.37kg/Mg para 3 carros torpedo.

Nota 5: La evacuación del edificio recolecta todas las emisiones de proceso y la evacuación directa de coraza recolecta solo las correspondientes a la fundición y refinado.

Nota 6: Para varios combustibles, si se utiliza el AP42 sección 1, el factor de emisión para calentadores, es A, y para pozos de inundación es D.

Nota 7: Basado en el contenido de metano y carga libre de partículas.

Recuadro 48. Emisión de CO sin control para la producción de hierro y acero (siderúrgicas). Tomado de (USEPA, 1986c)

Fuente	
Generadores de ráfaga (sinterizado)	22 kg de CO por Mg de sinterizado
BOF	69 kg de CO por Mg de acero (producto)
EAF	9 kg de CO por Mg de acero (producto)

Recuadro 49. Factores de emisión para partículas emitidas en operaciones abiertas llevadas a cabo en instalaciones de producción de hierro y acero (siderúrgicas). Tomado de (USEPA, 1986c)

Operación	Emisiones según el diámetro aerodinámico de la partícula					Unidades	Calidad
	<=30µm	<=30µm	<=30µm	<=30µm	<=30µm		
Caída continua del transporte							
-En estación de sinterizado	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg	D
Formación de la pila							
-Apilador de	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg	B

Operación	Emisiones según el diámetro aerodinámico de la partícula					Unidades	Calidad
	<=30µm	<=30µm	<=30µm	<=30µm	<=30µm		
pellet de mena							
-Mineral en trozos	0.15	0.095	0.75	0.040	0.022	g/Mg	C
-Carbón	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg	E
Descarga frontal por lotes (cargador o camión)							
-Escoria alta en sedimentos	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg	C
-Escoria baja en sedimentos	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg	C
Circulación de vehículos en caminos sin pavimentar							
-De servicio ligero	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	kg/km recorrido	C
-De servicio medio	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/km recorrido	C
-De servicio pesado	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/km recorrido	C
Circulación de vehículos en caminos pavimentados							
-Todos los servicios	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/km recorrido	C

Nota 1: Se prefiere el uso de ecuaciones predictivas de emisiones sobre los valores anteriormente dados, los cuales se pueden consultar en el AP42 sección 13.2 "Fugitive dust sources". Se recomienda consultar la fuente (el AP42 sección 12.5 "Iron and Steel production") para mayores aclaraciones y para información adicional sobre el tema.

Nota 2: Las unidades son en peso de material emitido respecto al material transportado o material emitido respecto a la distancia recorrida.

Fundiciones de hierro gris

Recuadro 50. Factores de emisión para CO, Pb, partículas, SO₂ en fundiciones de hierro gris. Tomado de (USEPA, 2003)

Etapa	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Horno de cubilote	CO	S/C	145.00	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	CO	Lavador de alta presión	145.00	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	Pb	S/C	0.1 a 1	lb/ton AGP		B
Horno de cubilote	PM, primario	S/C	13.80	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	PM, primario	Lavador venturi	3.00	lb/ton AGP		C
Horno de cubilote	PM, primario	Lavador de choque o húmedo	5.00	lb/ton AGP	1	E

Etapa	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Horno de cubilote	PM, primario	Filtro de casa de bolsas	0.70	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	PM, primario	Lavador de alta presión	0.80	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	PM, primario	Precipitador electrostático	1.40	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	PM, primario	Lavador	3.10	lb/ton AGP	4	C
Horno de cubilote	PM, primario	Lavador de capa húmeda simple	8.00	lb/ton AGP		E
Horno de cubilote	PM10, filtrable	S/C	12.40	lb/ton metal		C
Horno de cubilote	PM10, filtrable	S/C	2.34	lb/ton metal	6	C
Horno de cubilote	PM10, filtrable	S/C	0.76	lb/ton metal		E
Horno de cubilote	PM2.5, filtrable	S/C	11.60	lb/ton metal		C
Horno de cubilote	PM2.5, filtrable	S/C	2.34	lb/ton metal	6	C
Horno de cubilote	PM2.5, filtrable	S/C	0.76	lb/ton metal		E
Horno de cubilote	SO2	S/C	1.20	lb/ton AGP	5	E
Horno de cubilote	SO2	S/C	0.60	lb/ton AGP	2	E
Horno de reverbero	Pb	S/C	0.012 a 0.14	lb/ton AGP		B
Horno de reverbero	PM, primario	S/C	2.10	lb/ton AGP		E
Horno de reverbero	PM, primario	S/C	0.20	lb/ton AGP		E
Horno de inducción eléctrico	Pb	S/C	0.009 a 0.1	lb/ton AGP		B
Horno de inducción eléctrico	PM, primario	S/C	0.90	lb/ton AGP	3	E
Horno de inducción eléctrico	PM, primario	S/C	0.20	lb/ton AGP		E
Horno de arco eléctrico	CO	S/C	1 a 37	lb/ton AGP		E
Horno de arco eléctrico	NOx	S/C	0.04- 0.60	lb/ton AGP		E
Horno de arco eléctrico	PM, primario	S/C	12.70	lb/ton AGP		C
Horno de arco eléctrico	PM, primario	S/C	0.40	lb/ton AGP		C
Horno de arco eléctrico	PM10, filtrable	S/C	11.60	lb/ton metal		E
Horno de arco eléctrico	COVs	S/C	0.06 a 0.3	lb/ton AGP		E

Etapa	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Carga y manejo	PM, primario	S/C	0.60	lb/ton AGP		E
Vaciado y enfriado	PM, primario	S/C	4.20	lb/ton AGP		E
Vaciado y enfriado	PM10, filtrable	S/C	2.06	lb/ton AGP		D
Vaciado y enfriado	PM2.5, filtrable	S/C	1.00	lb/ton metal		D
Formación de corazones y cocido	PM, primario	S/C	1.10	lb/ton AGP		E
Tratamiento con Mg	PM, primario	S/C	1.80	lb/ton AGP		E
Refinado	PM, primario	S/C	3 a 5	lb/ton AGP		E
Sacudido de piezas	PM, primario	S/C	3.20	lb/ton AGP		E
Sacudido de piezas	PM10, filtrable	S/C	2.24	lb/ton metal		E
Sacudido de piezas	PM2.5, filtrable	S/C	1.34	lb/ton metal		E
Molienda y limpieza	PM, primario	S/C	17.00	lb/ton AGP		E
Molienda de arena y manejo	PM, primario	S/C	3.60	lb/ton AM		E
Molienda de arena y manejo	PM, primario	Filtro de casa de bolsas	0.20	lb/ton AM		E
Molienda de arena y manejo	PM, primario	Lavador	0.05	lb/ton AM		D

Nota 1: No se sabe si se usó un lavador de choque o húmedo.

Nota 2: Se asume que el 30% del azufre se convirtió en SO₂.

Nota 3: Solo para la fundición del metal.

Nota 4: Incluye promedios de lavadores de capa húmeda y otros tipos de lavadores no listados.

Nota 5: Se asume que el porcentaje del azufre en el coque es 30% aproximadamente.

Nota 6: La caída de presión a lo largo del venturi es de aproximadamente 102 pulgadas de agua.

AGP: Acero gris producido, AM: Arena manejada.

Fundiciones de acero

Recuadro 51. Factores de emisión para operaciones en fundición de hierro. Tomado de (USEPA, 1995c)

Etapa de proceso	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Horno de arco eléctrico	NO _x	Varios	0.20	lb/ton de metal procesado	1	E
Horno de arco eléctrico	PM, filtrable	Varios	13.00	lb/ton de metal procesado	1	E
Horno de hogar abierto	NO _x	Varios	0.01	lb/ton de metal procesado	2	E
Horno de hogar abierto	PM, filtrable	Varios	11.00	lb/ton de metal procesado	2	E
Horno de hogar abierto con lanza de O ₂	PM, filtrable	Varios	10.00	lb/ton de metal procesado	3	E
Horno de arco eléctrico	PM, filtrable	S/C	0.01	lb/ton de metal procesado		E

Etapa de proceso	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Horno de arco eléctrico	PM10, filtrable	S/C	0.09	lb/ton de metal procesado		E
Molienda y manejo de arena	PM10, filtrable	S/C	0.54	lb/ton de arena procesado		E
Hornos de centros (corazones)	PM10, filtrable	S/C	2.22	lb/ton de arena procesado		E
Vaciado y colada	PM10, filtrable	S/C	2.80	lb/ton de metal procesado		E
Limpieza	PM10, filtrable	S/C	1.70	lb/ton de metal procesado		E
Manejo de carga	PM10, filtrable	S/C	0.36	lb/ton de metal procesado		E
Enfriamiento de piezas	PM10, filtrable	S/C	1.40	lb/ton de metal procesado		E

Nota 1: Los sistemas de control incluyen un PEE (92 a 98% de eficiencia), filtro de casa de bolsas (98-99%), lavador venturi (94 a 98%).

Nota 2: Los sistemas de control incluyen un PEE (95 a 98% de eficiencia), filtro de casa de bolsas (99.9%), lavador venturi (96 a 99%).

Nota 3: Los sistemas de control incluyen un PEE (95 a 98% de eficiencia), filtro de casa de bolsas (99%), lavador venturi (95 a 98%).

Ferroaleaciones

Recuadro 52. Factores de emisión para la producción de ferroaleaciones diferentes en varios tipos de hornos. Tomado de (USEPA, 1986d)

Tipo de horno	Aleación	Contaminante	Sistema de control	FE	Notas	Calidad
Horno abierto	80% FeCr	PM10, filtrable	S/C	143.00	Incluye emisiones de vertido (tapping)	C
Horno abierto	80% FeCr	PM10, filtrable	Precipitador electrostático	2.30		C
Horno abierto	80% FeCr	PM2.5, filtrable	S/C	99.00	Incluye humos capturados por campanas	C
Horno abierto	80% FeCr	PM2.5, filtrable	Precipitador electrostático	1.84		C
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	S/C	206.00	No incluye emisiones de vertido (tapping) o fugas de sellos	E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	S/C	316.00		E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	Lavador de baja presión	8.00	No incluye emisiones de vertido (tapping) o fugas de sellos	E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	S/C	564.00		E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	S/C	70.00	Incluye humos capturados por campanas de vertido (100% eficiencia)	B
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	S/C	92.00		E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	Filtro de casa de bolsas	1.80	Incluye humos capturados por campanas de vertido (100% eficiencia)	B

Tipo de horno	Aleación	Contaminante	Sistema de control	FE	Notas	Calidad
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	Lavador de alta presión	0.48	No incluye emisiones de vertido (tapping) o fugas de sellos	E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM, filtrable	Lavador de baja presión	9.00	No incluye emisiones de vertido (tapping) o fugas de sellos	E
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM10, filtrable	S/C	44.00	Incluye emisiones de vertido (tapping)	B
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM10, filtrable	Filtro de casa de bolsas	1.30		B
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM2.5, filtrable	S/C	40.00	Incluye emisiones capturadas por campanas de vertido	B
Horno abierto de fusión eléctrico	75% FeSi	PM2.5, filtrable	Filtro de casa de bolsas	1.00		B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM, filtrable	S/C	872.00	60% de las emisiones capturadas (el material que escapo no se incluye en el FE).	B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM, filtrable	Filtro de casa de bolsas	32.00	60% de las emisiones capturadas (el material que escapo no se incluye en el FE).	B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM10, filtrable	S/C	750.00	Incluye humos de vertido (eficiencia de captura de 60%).	B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM10, filtrable	Filtro de casa de bolsas	28.00		B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM2.5, filtrable	S/C	654.00	Incluye humos de vertido capturados por campanas (eficiencia de captura de 60%).	B
Horno abierto de fusión eléctrico	Metal de Si	PM2.5, filtrable	Filtro de casa de bolsas	20.50		B
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM, filtrable	S/C	192.00		C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM, filtrable	Lavador de alta presión	0.30	No incluye emisiones del vertido o fugitivas	C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM, filtrable	Lavador	4.20		C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM10, filtrable	S/C	177.00	Incluye emisiones de vertido. Extrapolación	C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM10, filtrable	Lavador	4.30	Sistema primario de control solamente, sin emisiones de vertido	C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM2.5, filtrable	S/C	125.00	Incluye humos capturados por campana en el vertido	C
Horno abierto de fusión eléctrico	SiMn	PM2.5, filtrable	Lavador	4.16	Sistema primario de control solamente, sin emisiones de vertido	C
Horno abierto	80% FeMn	PM, filtrable	S/C	28.00	Captura estimada de 50% de emisiones del	B

Tipo de horno	Aleación	Contaminante	Sistema de control	FE	Notas	Calidad
					vertido (el material que escapó no se incluye en el FE)	
Horno abierto	80% FeMn	PM, filtrable	Filtro de casa de bolsas	0.48	Captura estimada de 50% de emisiones del vertido (el material que escapó no se incluye en el FE)	B
Horno abierto	80% FeMn	PM, filtrable	Lavador de alta presión	1.60	Incluye humos del sistema primario de control	E
Horno abierto	80% FeMn	PM10, filtrable	S/C	24.00	Incluye humos de vertido (eficiencia de captura estimada del 50%)	B
Horno abierto	80% FeMn	PM10, filtrable	Filtro de casa de bolsas	0.40	Incluye humos de vertido (eficiencia de captura estimada del 50%)	B
Horno abierto	80% FeMn	PM2.5, filtrable	S/C	17.00	Incluye emisiones capturadas por campanas de vertido	B
Horno abierto	80% FeMn	PM2.5, filtrable	Filtro de casa de bolsas	0.24	Incluye emisiones capturadas por campanas de vertido	B
Horno abierto	80% FeCr	PM, filtrable	S/C	157.00	Incluidas emisiones de vertido	C
Horno abierto	80% FeCr	PM, filtrable	Precipitador electrostático	2.30	Incluidas emisiones de vertido	C
Horno abierto de fusión eléctrico	FeMn	PM, filtrable	S/C	12.00	Incluye humos de vertido y EF y fugas de sellos. EF medidas al 33% del total de emisiones incontrolables	E
Horno abierto de fusión eléctrico	FeMn	PM, filtrable	S/C	74.00	Se sume que el vertido no se incluye en el factor	E
Horno abierto de fusión eléctrico	FeMn	PM, filtrable	Lavador de alta presión	0.50	Incluye humos del sistema primario de control. No del vertido ni fugitivas	C

Nota: El "tapping" en inglés se refiere a la operación de inclinar el horno para verter el metal fundido en una cuchara o algún otro receptor, según el caso.
"EF" significa "emisiones fugitivas".

Soldadura eléctrica

Recuadro 53. Factores de emisión para la soldadura FCAW (Flux Cored Arc Welding), sin control de emisiones y todo en lb de contaminante emitidos por cada 1000lb de electrodo consumido. Tomado de (USEPA, 1995d)

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
FCAW	E110 T5-K3	Cr	0.00	incluye E110TS-K3.	D
FCAW	E110 T5-K3	Cr	2.02	incluye E110TS-K3.	D
FCAW	E110 T5-K3	Cr	0.11	incluye E110TS-K3.	D
FCAW	E110 T5-K3	Cr	20.80	450 a 550 A; 31 a 32 V. incluye E110TS-K3. (1)	D
FCAW	E11018	Cr	0.97	incluye E11018-M.	C
FCAW	E11018	Cr	0.70	incluye E11018-M.	C
FCAW	E11018	Cr	0.10	incluye E11018-M.	C
FCAW	E11018	Cr	57.00	450 a 550 A; 31 a 32 V. (1)	D
FCAW	E308LT	Cr	9.10	450 a 550 A; 31 a 32 V. incluye E308LT-3. (1)	C
FCAW	E316LT	Cr	0.97	incluye E316LT-3.	B
FCAW	E316LT	Cr	0.14	incluye E316LT-3.	B
FCAW	E316LT	Cr	0.59	incluye E316LT-3.	B
FCAW	E316LT	Cr	0.09	incluye E316LT-3.	B
FCAW	E316LT	Cr	8.50	450 a 550 A; 31 a 32 V. incluye E316LT-3. (1)	B
FCAW	E70T	Cr	0.00	incluye E70T-1, E70T-2, E70T-4, E70T-5, E70T-7, y E70T-G.	B
FCAW	E70T	Cr	0.89	incluye E70T-1, E70T-2, E70T-4, E70T-5, E70T-7, y E70T-G.	B
FCAW	E70T	Cr	0.01	incluye E70T-1, E70T-2, E70T-4, E70T-5, E70T-7, y E70T-G.	B
FCAW	E70T	Cr	15.10	450 a 550 A; 31 a 32 V. incluye E70T-1, E70T-2, E70T-4, E70T-5, E70T-7, y E70T-G. (1)	B
FCAW	E71T	Cr	0.00	incluye E71T-1 y E71T-11.	B
FCAW	E71T	Co	<0.001	incluye E71T-1 y E71T-11.	B
FCAW	E71T	Mn	0.66	incluye E71T-1 y E71T-11.	B
FCAW	E71T	Ni	0.00	incluye E71T-1 y E71T-11.	B
FCAW	E71T	PM10, Filtrable	12.20	450 a 550 A; 31 a 32 V. incluye E71T-1 y E71T-11. (1)	B

Nota 1: El tipo de gas protector usado puede influir en la emisión del contaminante.

Recuadro 54. Factores de emisión para la soldadura GMAW (Gas metal Arc Welding), sin control de emisiones y todo en lb de contaminante emitidos por cada 1000lb de electrodo consumido. Tomado de (USEPA, 1995d)

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
GMAW	ER1260	Cr	0.00	275 a 460 A; 19 a 32 V. (1)	D
GMAW	ER1260	Cr	20.50		D
GMAW	E308l	Cr	0.52	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E308LSi. (1)	C
GMAW	E308l	Cr	<0.001	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E308LSi. (1)	C
GMAW	E308l	Cr	0.35	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E308LSi. (1)	C
GMAW	E308l	Cr	0.18	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E308LSi. (1)	C
GMAW	E308l	Cr	5.40	incluye E308LSi.	C
GMAW	ER316	Cr	0.53	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ER316l-Si. (1)	D
GMAW	ER316	Cr	0.01	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ER316l-Si. (1)	D
GMAW	ER316	Cr	0.25	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ER316l-Si. (1)	D
GMAW	ER316	Cr	0.23	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ER316l-Si. (1)	D
GMAW	ER316	Cr	3.20	incluye ER316l-Si y ER316L-Si.	C
GMAW	ER5154	Cr	0.01	275 a 460 A; 19 a 32 V. (1)	D
GMAW	ER5154	Cr	0.03	275 a 460 A; 19 a 32 V. (1)	D
GMAW	ER5154	Cr	24.10		D
GMAW	E70S	Cr	0.00	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E70S-3, E70S-5, y E70S-6. (1)	A
GMAW	E70S	Cr	<0.001	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E70S-3, E70S-5, y E70S-6. (1)	A
GMAW	E70S	Cr	0.32	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E70S-3, E70S-5, y E70S-6. (1)	A
GMAW	E70S	Cr	0.00	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye E70S-3, E70S-5, y E70S-6. (1)	A
GMAW	E70S	Cr	5.20	incluye E70S-3, E70S-5, y E70S-6.	A
GMAW	ERNiCrMo	Cr	0.35	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCrMo-3 y ERNiCrMo-4. (1)	B
GMAW	ERNiCrMo	Cr	0.07	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCrMo-3 y ERNiCrMo-4. (1)	B
GMAW	ERNiCrMo	Cr	1.25	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCrMo-3 y ERNiCrMo-4. (1)	B
GMAW	ERNiCrMo	Cr	3.90	incluye ENiCrMo-3 y ENiCrMo-4.	C

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
GMAW	ERNiCu	Cr	<0.001	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCu-7. (1)	C
GMAW	ERNiCu	Cr	0.02	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCu-7. (1)	C
GMAW	ERNiCu	Cr	0.45	275 a 460 A; 19 a 32 V. incluye ERNiCu-7. (1)	C
GMAW	ERNiCu	Cr	2.00	incluye ERNiCu-7.	C

Nota 1: El tipo de gas protector usado puede influir en la emisión del contaminante.

Recuadro 55. Factores de emisión para la soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding), sin control de emisiones y todo en lb de contaminante emitidos por cada 1000lb de electrodo consumido. Tomado de (USEPA, 1995d)

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
SMAW	14Mn-4Cr	Cr	1.39	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	14Mn-4Cr	Mn	23.20	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	14Mn-4Cr	Ni	1.71	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	14Mn-4Cr	PM10, Filtrable	81.60	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E11018	Mn	1.38	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E11018-M.	C
SMAW	E11018	PM10, Filtrable	16.40	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E11018-M.	C
SMAW	E308	Cr	0.39	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	D
SMAW	E308	Cr VI	0.36	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	D
SMAW	E308	Co	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	D
SMAW	E308	Mn	0.25	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	D
SMAW	E308	Ni	0.04	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	D
SMAW	E308	PM10, Filtrable	10.80	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E308-16 y E308L-15.	C
SMAW	E310	Cr	2.53	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E310-15.	C
SMAW	E310	Cr VI	1.88	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E310-15.	C
SMAW	E310	Pb	0.02	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E310-15.	C
SMAW	E310	Mn	2.20	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E310-15.	C
SMAW	E310	Ni	0.20	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E310-15.	C

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
SMAW	E310	PM10, Filtrable	15.10	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E310-16.	C
SMAW	E316	Cr	0.52	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E316-15, E316-16, y E316L-16.	D
SMAW	E316	Cr VI	0.33	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E316-15, E316-16, y E316L-16.	D
SMAW	E316	Mn	0.54	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E316-15, E316-16, y E316L-16.	D
SMAW	E316	Ni	0.06	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E316-15, E316-16, y E316L-16.	D
SMAW	E316	PM10, Filtrable	10.00	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E316-15, E316-16, y E316L-16.	C
SMAW	E410	Mn	0.69	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E410-16.	C
SMAW	E410	Ni	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye E410-16.	C
SMAW	E410	PM10, Filtrable	13.20	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E410-16.	D
SMAW	E6010	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6010	Cr VI	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6010	Mn	0.99	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6010	Ni	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6010	PM10, Filtrable	25.60	102 a 229 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6011	Cr	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E6011	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E6011	Cr	1.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E6011	Cr	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E6011	Cr	38.40	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E6012	Cr	8.00	102 a 229 A; 21 a 34 V.	D
SMAW	E6013	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6013	Cr	<0.001	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6013	Cr	0.95	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6013	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E6013	Cr	19.70	102 a 229 A; 21 a 34 V.	B
SMAW	E7018	Cr	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7018	Cr	<0.001	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7018	Cr	1.03	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7018	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7018	Cr	18.40	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7024	Cr	0.00	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7024	Cr	0.63	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
SMAW	E7024	Cr	9.20	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7028	Cr	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7028	Cr	0.16	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7028	Cr	0.85	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E7028	Cr	18.00	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	E8018	Cr	0.02	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 8018C3.	C
SMAW	E8018	Cr	0.03	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 8018C3.	C
SMAW	E8018	Cr	0.05	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 8018C3.	C
SMAW	E8018	Cr	17.10	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E8018C3.	C
SMAW	E9015	Cr	17.00	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E9015B3.	D
SMAW	E9018	Cr	0.21	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 9018B3.	C
SMAW	E9018	Cr	0.78	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 9018B3.	C
SMAW	E9018	Cr	0.01	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye 9018B3.	C
SMAW	E9018	Cr	16.90	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye E9018B3 y E9018G.	C
SMAW	ECoCr-A	Cr	27.90	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye ECoCr-A.	C
SMAW	ENi-CI	Cr	0.04	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	ENi-CI	Cr	0.89	102 a 225 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	ENi-CI	Cr	18.20	102 a 229 A; 21 a 34 V.	C
SMAW	ENiCrMo	Cr	0.42	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye ENiCrMo-3 y ENiCrMo-4.	C
SMAW	ENiCrMo	Cr	0.04	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye ENiCrMo-3 y ENiCrMo-4.	C
SMAW	ENiCrMo	Cr	0.25	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye ENiCrMo-3 y ENiCrMo-4.	C
SMAW	ENiCrMo	Cr	11.70	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye ENiCrMo-4.	C
SMAW	ENi-Cu	Cr	0.21	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye ENi-Cu-2.	C
SMAW	ENi-Cu	Cr	0.42	102 a 225 A; 21 a 34 V. incluye ENi-Cu-2.	C
SMAW	ENi-Cu	Cr	10.10	102 a 229 A; 21 a 34 V. incluye ENi-Cu-2.	C

Recuadro 56. Factores de emisión para la soldadura SAW (Sumerged Arc Welding), sin control de emisiones y todo en lb de contaminante emitidos por cada 1000lb de electrodo consumido. Tomado de (USEPA, 1995d)

Tipo de soldadura	Electrodo	Contaminante	FE	Notas	Calidad
SAW	EM12K	PM10, Filtrable	0.05	incluye EM12K1 y F72-EM12K2. (1)	C

Nota 1: El tipo de gas protector usado puede influir en la emisión del contaminante.

Aluminio primario

Recuadro 57. Factores de emisión para la estimación de emisiones de partículas en diversas etapas de la producción de aluminio primario, tomado de (USEPA, 1998a)

Etapas de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Bauxita)	Mo/Ma	Partículas	S/C	6.00	Lb	2, 3	A
Mena de Al (Bauxita)	Mo/Ma	Partículas	Torre de rociado	1.80	Lb	2, 3	A
Mena de Al (Bauxita)	Mo/Ma	Partículas	Lavador de lecho flotante	1.70	Lb	2, 3	A
Mena de Al (Bauxita)	Mo/Ma	Partículas	Torre de apagado	1.00	Lb	2, 3	A
Mena de Al (Bauxita)	Mo/Ma	Partículas	Barrera de rociado	1.00	Lb	2, 3	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	S/C	89.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	S/C	94.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Torre de rociado	112.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lecho empacado de flujo cruzado	26.30	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lavador seco	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lavador seco	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Filtro de tela	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lavador seco	0.70	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lavador	0.70	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Lavador de lecho flotante	112.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Ciclones múltiples	19.60	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Torre de rociado	4.50	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Partículas	Precipitador electrostático	4.50	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	S/C	88.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	S/C	98.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Torre de rociado	22.00	Lb	2, 4	A

Etapas de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Lavador seco	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Lavador de lecho flotante	19.40	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Lavador	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Precipitador electrostático húmedo	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Partículas	Precipitador electrostático húmedo	1.80	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	PM10, filtrable	S/C	56.80	Lb	4	D
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	PM2.5, filtrable	S/C	39.20	Lb	4	D
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	S/C	66.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	S/C	78.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	Torre de rociado	16.50	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	Lavador venturi	2.60	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	Lavador	7.70	Lb	1	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	Lavador seco	1.30	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Partículas	Ciclones múltiples	33.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Partículas	S/C	3.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Partículas	Torre de rociado	0.75	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Partículas	Lavador seco	0.06	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Partículas	Precipitador electrostático	0.75	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	PC: EF	Partículas	S/C	5.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	PC: EF	PM10, filtrable	S/C	2.90	Lb	4	C
Mena de Al (Electro reducción)	PC: EF	PM2.5, Filtrable	S/C	1.40	Lb	4	C
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	Partículas	S/C	10.00	Lb	2, 4	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	PM10, filtrable	S/C	3.10	Lb	4	D
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	PM2.5, filtrable	S/C	1.70	Lb	4	D
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	Partículas	S/C	12.00	Lb	2, 4	A

Etapa de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Calcinado de Al(OH) ₃	PG	Partículas	S/C	200.00	Lb	2, 4	A
Calcinado de Al(OH) ₃	PG	Partículas	Torre de rociado	60.00	Lb	2, 4	A
Calcinado de Al(OH) ₃	PG	Partículas	Misceláneos	56.00	Lb	2, 4	A
Calcinado de Al(OH) ₃	PG	Partículas	Torre de apagado	34.00	Lb	2, 4	A
Calcinado de Al(OH) ₃	PG	Partículas	Precipitador electrostático	4.00	Lb	2, 4	A

Recuadro 58. Factores de emisión para la estimación de emisiones de otros contaminantes en diversas etapas de la producción de aluminio primario, tomado de (USEPA, 1998a)

Etapa de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Torre de rociado	0.30	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador venturi	0.30	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador venturi	0.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Miscláneo	1.30	Lb	4, 7	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Miscláneo	1.50	Lb	4, 7	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	0.30	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	28.10	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	4.70	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Hexafluoroetano	Lavador seco	0.12	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	CO ₂	Lavador seco	3,080.00	Lb	4, 6	C
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	19.00	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	20.00	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	22.80	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	24.00	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	1.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.80	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	5.60	Lb	4, 8	A

Etapas de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	6.70	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.30	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.30	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.80	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	0.50	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	22.80	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	4.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	1.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	1.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Fluoruros	Lavador seco	3.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Hexafluoroetano	Lavador seco	0.12	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	CRPC	Tetrafluorometano	Lavador seco	1.20	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	CO2	Lavador seco	3,670.00	Lb	4, 6	C
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	10.80	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	12.00	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	19.80	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	22.00	Lb	4, 5	A

Etapas de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	2.70	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	7.50	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	2.40	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.40	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	1.00	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Fluoruros	Lavador seco	0.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Hexafluoroetano	Lavador seco	0.12	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS	Tetrafluorometano	Lavador seco	1.20	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	CO2	Lavador seco	3,670.00	Lb	4, 6	C
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	11.00	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	28.10	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	33.00	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	9.30	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Fluoruros	Lavador seco	2.30	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS	Tetrafluorometano	Lavador seco	1.20	Lb	4, 9	E
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.10	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.90	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.03	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.04	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.00	Lb	4, 8	A

Etapa de proceso	Detalle	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Notas	Calidad
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Lavador seco	0.01	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Precipitador electrostático	0.03	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	HCA	Fluoruros	Precipitador electrostático	0.04	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	PC: EF	Fluoruros	S/C	1.00	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	PC: EF	Fluoruros	S/C	1.20	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	Fluoruros	S/C	1.20	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CHSS: EF	Fluoruros	S/C	2.20	Lb	4, 5	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS: EF	Fluoruros	S/C	1.70	Lb	4, 8	A
Mena de Al (Electro reducción)	CVSS: EF	Fluoruros	S/C	4.90	Lb	4, 5	A

Nota 1: Los sistemas de control incluyen un lavador, precipitador electrostático, barrera de rociado y lavador, pero no partículas condensables orgánicas.

Nota 2: Las partículas incluyen fluoruros, pero no partículas condensables orgánicas.

Nota 3: lb/ton de mena procesada.

Nota 4: lb/ton de Al fundido producido.

Nota 5: Los fluoruros están en estado gaseoso.

Nota 6: Se asume que se consumen 0.5lb de carbón/lb de Al producido.

Nota 7: Los fluoruros están en forma de partículas. Control de emisiones con lavadores, precipitadores electrostáticos, rociado de barrera y lavado.

Nota 8: Los fluoruros están en forma de partículas.

Nota 9: Promedio de la industria, varía con la duración del efecto del ánodo, frecuencia y eficiencia eléctrica.

Abreviaciones usadas.

CRPC: Celda de reducción pre cocida.

CHSS: Celda Horizontal Stud Soderberg.

CVSS: Celda vertical Stud Soderberg.

HCA: Horno de cocido de ánodos.

PC: Pre cocido.

EF: Emisiones fugitivas.

PG: Proceso general.

Mo: Molienda.

Ma: Manejo.

Para estimar la emisión de SO_x del horno de cocido de ánodos (previo al sistema de control y sin considerar los provenientes del combustible usado) se aplica la siguiente ecuación (USEPA, 1998a):

$$E_{SOX} = 40(C)(K)(1 - 0.01K)$$

Para la celda de reducción precocida, la ecuación es la siguiente:

$$E_{SOX} = 40(C)(S)(K)$$

Donde E_{SO_x} son las emisiones de SO_x en lb/ton, C es el consumo del ánodo (o pasta de la que está hecha) durante la electrolisis en lb de ánodo consumido por tonelada de Al producido, S es el % de azufre en el ánodo antes del cocido, K es el % total de SO_2 emitido en la celda (de reducción) de pre cocido. La USEPA considera estos cálculos como factores de emisión clase "C" (USEPA, 1998a).

Aluminio secundario

Recuadro 59. Factores de emisión para en diversas etapas de la producción de aluminio secundario o de reciclo, tomado de (USEPA, 1986b)

Etapa	Contaminante	Sistema de control	FE	Unidad	Calidad
Horno de exudado	PM, filtrables	S/C	14.50	Lb/ton Al procesado	E
Horno de exudado	PM, filtrables	Casa de filtros de bolsas	3.30	Lb/ton Al procesado	E
Horno de fundición de crisol	PM, filtrables	S/C	1.90	Lb/ton Al procesado	E
Horno de fundición de reverbero	PM, filtrables	S/C	4.30	Lb/ton Al procesado	E
Horno de fundición de reverbero	PM, filtrables	Casa de filtros de bolsas*	1.30	Lb/ton Al procesado	E
Horno de fundición de reverbero	PM, filtrables	Precipitador electrostático	1.30	Lb/ton Al procesado	E

*Este factor puede ser menor si se usan casas de filtros de bolsas cubiertas.

Recuadro 60. Resumen de emisiones a la atmósfera generadas al procesar aluminio secundario, armado con varias tablas de información de (BREF, 2005)

Emisión	Unidad	Secado de virutas	Fusión en horno de inducción ¹	Fusión en horno rotatorio ¹	Fusión en horno reverbero con pozo lateral ¹	Fusión en horno solera con pendiente ¹
Partículas	mg/Nm ³	<5 a 50	<1 a 35	1 a 30	<0.1 a 35	<5 a 50
HF	mg/Nm ³	<5	0.1 a 5	0.1 a 5	0.1 a 5	<5
Cloruros	mg/Nm ³	<5	1 a 5	<1 a 5	<1 a 5	1 a 5
HCl	mg/Nm ³	3 a 40	0.1 a 40	0.1 a 40	0.5 a 40	30 a 40
SO ₂	mg/Nm ³	15 a 530		5 a 520	0.5 a 515	10 a 530
NO ₂	mg/Nm ³	40 a 420		50 a 450	15 a 450	20 a 420
Dioxinas	ng/Nm ³	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1	<0.1 a 1
COVs	mg/Nm ³	10 a 57		5 a 90	2 a 55	5 a 57
Energía ²	GJ/ton	3.5 a 5.2	2 a 8	4 a 12	3.3 a 8.0	2.3 a 3.8

¹ Después de la alimentación

² Las unidades son en GJ por tonelada de viruta para la primera columna, después es por tonelada de Al fundido

Desengrasado con solventes (limpieza de superficies)

Recuadro 61. Factores de emisión de COVs no metánicos para operaciones de desengrasado con solventes. Tomado de (USEPA, 1981)

Periodo de operación	Pérdida per cápita
Anual	1.8kg
Diario	5.8g

Recuadro 62. Factores de emisión de COVs no metánicos para operaciones de desengrasado con solventes en frío en pequeña escala. Tomado de (USEPA, 1981)

Tipo de desengrasado	Actividad medida	Factor de emisión sin control
Todos (general)	Solvente consumido	1000kg/Mg
Limpieza en frío		
-Toda la unidad	Unidades en operación	0.30Mg/año/unidad
--Pérdida de solvente en residuos		0.165Mg/año/unidad
--Ejecución		0.075Mg/año/unidad
--Evaporación del baño y el rociado		0.06Mg/año/unidad
-Toda la unidad	Superficie y ciclo de servicio	0.4kg/h/m ²
Con vapor (abierto)		
-Toda la unidad	Unidades en operación	9.5Mg/año/unidad
-Toda la unidad	Superficie y ciclo de servicio	0.7kg/h/m ²
Vapor (en transporte)		
-Toda la unidad	Unidades en operación	24Mg/año/unidad
Sin bullir (en transporte)		
-Toda la unidad	Unidades en operación	47Mg/año/unidad

Recuperación de solventes

En el recuadro siguiente se da información sobre las emisiones a la atmósfera de sistemas de recuperación de solventes.

Recuadro 63. Emisión de COVs y partículas sólidas totales de la unidad de recuperación de solventes. Tomado de (USEPA, 1980)

Fuente de emisión	Contaminante	Factor de emisión ¹ promedio (kg/ton)
Tiro del tanque de almacenamiento	COVs	0.01 (0.002 - 0.04)
Tiro del condensador	COVs	1.65 (0.26 - 4.17)
Chimenea del incinerador ³	COVs	0.01
Chimenea del incinerador	PST	0.72 (0.55 - 1.0)
Emisiones fugitivas		
Derrame ³	COVs	0.10
Carga	COVs	0.36 (0.00012 - 0.71)
Fugas	COVs	ND
Fuentes abiertas	COVs	ND

ND = No hay valores.

Nota 1: Todos los factores de emisión son para equipos de proceso sin control, excepto para las chimeneas del incinerador. Los promedios se obtienen del intervalo de valores disponibles. Los factores para estas fuentes están dados en término de kg/ton de solvente recuperado. Los intervalos están en paréntesis.

Nota 2: El tanque de almacenamiento es de techo fijo.

Nota 3: Solamente hay un valor disponible.

Vehículos automotores

Para estimar las emisiones de vehículos industriales (montacargas, grúas con motores de combustión interna, etc.) mediante factores de emisión, se requiere la siguiente información:

- potencia del motor o combustible utilizado,
- factor de carga,
- horas de uso durante el año de reporte (si se utiliza la potencia de motor).

La emisión para vehículos industriales se estima con base en la potencia del motor:

$$E_x = P * Top * FC * FE_x$$

donde:

E_x = emisión de x para un motor específico (kg/año),

P = potencia promedio del motor (kW),

Top = tiempo de operación del vehículo (horas/año),

FC = factor de carga según el tipo de equipo (adimensional),

FE_x = factor de emisión de x para un motor y combustible específico (kg/kWh).

Los factores de emisión se pueden obtener del Apéndice B del *Manual de técnicas de estimación de emisiones para motores de combustión* (NPI, 2008). Los factores de carga obtenidos de ese manual se muestran en la siguiente tabla:

Recuadro 64. Factores de carga para la estimación de emisiones de contaminantes provenientes de vehículos automotores (NPI, 2008).

Tipo de vehículo industrial	Factor de carga
Carro ¹	0.25
Autobús ¹	0.25
Camiones (vehículos pesados)	0.25
Montacargas	0.20
Tractor de cadenas	0.55
Tractor de ruedas	0.55
Tractor de ruedas equipado (Dozer)	0.55
Transportador de rasquetas	0.50
Niveladora	0.50
Cargadora de ruedas	0.50
Cargadora de cadenas	0.50
Camiones fuera de carreteras	0.50
Aplanadora	0.50

¹ Usados en terreno escabroso o caminos poco marcados.

Otro método de estimación es por medio de factores de emisión basados en el consumo de combustible:

$$E_x = FE_x * Q * FC$$

donde:

FE_x = factor de emisión de x para un motor y combustible específico (kg/L o kg/kg),

Q = consumo anual de combustible (kg/año o L/año).

Estos factores también están disponibles en el *Manual de técnicas de estimación de emisiones para motores de combustión* (NPI, 2008).

Los factores de emisión presentados aquí y muchos otros de la USEPA se pueden consultar en la compilación de factores de emisión del WebFIRE, perteneciente a la USEPA (USEPA, 2012).

El usuario puede consultar además, los textos del AP42. La sección 12 para mayor información sobre factores de emisión, documentos de soporte y respaldo, referencias y otros detalles sobre operaciones metalúrgicas. La sección 1 para operaciones de combustión, la 3 para fuentes estacionarias de combustión como turbinas y motores, la 4 para fuentes de evaporación, la sección 7 para instalaciones de almacenamiento o alguna otra parte del AP42 según se requiera

Se recomienda ampliamente que el usuario consulte directamente las referencias de donde se obtuvo esta información, tanto para obtener los factores de emisión a usar como para una mejor comprensión de lo que los autores ofrecen para así, aprovechar mejor esta herramienta.

Es posible que existan otras fuentes de factores de emisión, además de las mostradas y referidas en esta guía dada la gran diversidad de procesos, mejoras, modificaciones, investigación y desarrollo constante al respecto que podrían ser útiles para algún usuario en un momento dado.

ANEXO II

FACTORES DE EMISIÓN DE COMBUSTIÓN

Los siguientes factores de emisión son aplicables a todos los sectores industriales.

Equipos de combustión (factores del IPCC)

Los siguientes recuadros contienen información a manera de factores de emisión para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂, CH₄ y N₂O a partir de combustibles fósiles utilizados en equipos de generación de energía eléctrica y de calentamiento. La SEMARNAT utiliza estos factores para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. (Para otros contaminantes, se pueden usar otras fuentes, como el AP-42, secciones I y III).

Recuadro 65. Poder calorífico de diferentes combustibles utilizados en la industria y en la generación de energía eléctrica. Tomado de (WRI, 2005)

Tipo de combustible	(MJ/kg) ^a			Miles de Btu/lb)		
	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e
Combustibles basados en el carbón						
Carbón de antracita	21-34	29	varía	9-15	12	
Carbón bituminoso	9-36	30	varía	4-15	13	
Carbón sub-bituminoso	11-29	21	varía	5-12	9	
Carbón de lignito	6-23	16	varía	3-10	7	
Carbón de coque	21-36	29		9-15	12	
Combustible patentado	14-33	30	varía	6-14	13	
BKB	8-23	21	varía	3-10	9	
Combustibles basados en el gas natural						
Gas natural	38-55	51		16-24	22	
Gas natural seco	39-55	52		17-24	22	
Metano	-	55.6			23.9	
Etano	-	51.9			22.3	
Propano	-	50.4			21.7	
Butano	-	49.5			21.3	
Isobutano	-	49.5			21.3	
n-Butano	-	49.4			21.3	
Líquidos del gas natural	46-55	52	varía	20-24	22	
Combustibles basados en el petróleo						
Petróleo crudo	37-48	46	varía	16-21	20	
Gasolina de motor/petrol	46-48	47	47.2	20-21	20	20.3
Gasolina de aviación	47-50	48		20-22	21	
Destilado	43-49	46	45.6	19-21	20	19.6
Combustóleo No.1	43-46	46		19-20	20	

Tipo de combustible	(MJ/kg) ^a			Miles de Btu/lb		
	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e
Combustóleo No.2	44-49	46		19-21	20	
Combustóleo No.4	45-47	46		19-20	20	
Destilado residual	39-48	43	42.3	17-21	19	18.2
Combustóleo No.5	39-47	43		17-20	19	
Combustóleo No.6	39-48	43		17-21	19	
Keroseno para jet	46-47	46.9	46.9	19.8-20.2	20.2	20.2
Keroseno (otro)	46-48	47	47.1	19.8-20.7	20	20.3
Coque de petróleo	29-42	33	32.6	12-18	14	14.0
Gas Licuado de Petróleo	45-53	50	49.8	19-23	22	21.4
Nafta	33-49	47	47.4	14-21	20	20.4
Asfalto/bitumen	41-43	42	42.3	18-19	18	18.2
Pitch	37-41	40		16-18	17	
Lubricantes	40-46	43	42.3	17-20	19	18.2
Ceras	44-47	46		19-20	20	
Aceite de pizarra bituminosa ("Shale oil")	36-42	38	37.9	15-18	16	16.3
Pizarra bituminosa ("oil shale" o esquisto o lutita bituminosa)	5-12	10	9.9	2-5	4	4.3
Otros combustibles						
Peat ^b	13-21	16		5-9	7	
Plásticos de desperdicio	17-43	30		7-19	13	
Alquitrán	22-36	30	29.5	9-15	13	12.7
Combustible derivado de llantas	27-38	36		12-16	15	
Biomasa						
Madera (seca)	14-22	20	varía ^f	6-9	9	
Madera (húmeda)	6-14	11	varía ^f	3-6	5	
Fuelwood (approx. 20% humedad)	14-19	16	varía ^f	6-8	7	
Licor negro	10-15	14		4-6	6	
Gas de vertedero ^c	9-24	13		4-10	6	
Biogás de tratamiento de aguas ^c	9-24	13		4-10	6	
Biodiesel	38-44	40		16-19	17	
Turpentina	39-45	44		17-19	19	
Aceites vegetales	32-48	40		17-21	19	

^a Seco a menos que se haga notar lo contrario.

^b El valor puede verse afectado significativamente por el contenido de humedad del combustible.

^c El valor puede verse significativamente afectado por la fracción de aire, CO² y humedad en el gas.

^d Se usaron capacidades caloríficas altas porque están más relacionadas al contenido de carbono que las capacidades caloríficas bajas.

^e Los valores del IPCC han sido convertidos de capacidades caloríficas bajas a las altas mediante una regla de dedo.

^f Ver la tabla 1-13 en el documento "Revised IPCC 1996 Guidelines", p. 1.45 para valores de varios combustibles basados en la biomasa.

Recuadro 66. Contenido de carbón de diferentes combustibles utilizados en la industria y en la generación de energía eléctrica. Tomado de (WRI, 2005)

Tipo de combustible	(kg C/GJ)			(lb C/Millón Btu)		
	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e
Combustibles basados en el carbón						
Carbón de antracita	25-30	27	25.5	58-70	63	59.2
Carbón bituminoso	22-26	24	24.5	51-60	56	57.0
Carbón sub-bituminoso	23-28	25	24.9	54-65	58	57.8
Carbón de lignito	23-29	26	26.2	53-67	60	60.9
Carbón de coque	26-38	29		60-88	67	
Combustible patentado	23-30	25	24.5	53-70	58	57.0
BKB	23-30	25	24.5	53-70	58	57.0
Combustibles basados en el gas natural						
Gas natural	13-16	14		30-37	33	
Gas natural seco	13-16	14	13.8	30-37	33	32.0
Metano	-	13.5		-	31.3	
Etano	-	15.4		-	35.8	
Propano	-	16.2		-	37.7	
Butano	-	16.7		-	38.9	
Isobutano	-	16.7		-	38.9	
n-Butano	-	16.8		-	38.9	
Líquidos del gas natural	13-17	16	16.3	30-40	38	38.0
Combustibles basados en el petróleo						
Petróleo crudo	17-21	19	19.0	40-49	44	44.2
Gasolina de motor/petrol	17-19	18	18.0	40-44	42	41.7
Gasolina de aviación	17.7-18.0	17.9		41-42	41.6	
Destilado	18-20	19	19.2	42-46	44	44.6
Combustóleo No.1	18-20	19		42-46	44	
Combustóleo No.2	18-20	19		42-46	44	
Combustóleo No.4	18-20	19		42-46	44	
Destilado residual	20-21	20.5	20.0	46-49	47.6	46.6
Combustóleo No.5	20-21	20.5		46-49	47.6	
Combustóleo No.6	20-21	20.5		46-49	47.6	
Keroseno para jet	18-19	18.5	18.5	42-44	43.0	43.1
Keroseno (otro)	18-19.5	18.6	18.6	42-45	43.3	43.3
Coque de petróleo	24-27	26	26.1	56-63	60	60.7
Gas Licuado de Petróleo	15-17	16	16.3	35-40	38	38.0
Nafta	17-19	19	19.0	40-44	44	44.2
Asfalto/bitumen	20-22	21	20.9	46-51	49	48.6
Pitch	20-21	21		46-49	49	
Lubricantes	18-21	19	19.0	42-49	44	44.1

Tipo de combustible	(kg C/GJ)			(lb C/Millón Btu)		
	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e
Ceras	18-20	19		42-46	44	
Shale oil (líquido)	17-21	19	19.0	40-49	44	44.2
Oil shale	24-29	28	27.6	56-67	65	64.2
Otros combustibles						
Peat ^b	25-28	27	27.5	58-65	63	63.8
Plásticos de desperdicio	19-26	22		44-60	51	
Alquitrán	20-22	21		46-51	49	
Combustible derivado de llantas	20-29	22		46-67	51	
Biomasa						
Madera (seca)	23-29	26		53-67	60	
Madera (húmeda)	23-29	26		53-67	60	
Fuelwood (approx. 20% humedad)	23-29	26		53-67	60	
Licor negro	22-25	23		51-58	53	
Gas de vertedero ^c	-	13.5		-	31.3	
Biogás de tratamiento de aguas ^c	-	13.5		-	31.3	
Biodiesel	19-24	21		44-56	49	
Turpentina	19-20	19		44-46	44	
Aceites vegetales	19-24	21		44-56	49	

^a Seco a menos que se haga notar lo contrario.

^b El valor puede verse afectado significativamente por el contenido de humedad del combustible.

^c El valor puede verse significativamente afectado por la fracción de aire, CO₂ y humedad en el gas.

^d Se usaron capacidades caloríficas altas porque están más relacionadas al contenido de carbono que las capacidades caloríficas bajas.

^e Los valores del IPCC han sido convertidos de capacidades caloríficas bajas a las altas mediante una regla de dedo.

^f Ver la tabla 1-13 en el documento "Revised IPCC 1996 Guidelines", p. 1.45 para valores de varios combustibles basados en la biomasa.

Recuadro 67. Factores de oxidación para diferentes combustibles utilizados en la industria y en la generación de energía eléctrica. Tomado de (WRI, 2005)

Combustible/tipo de tecnología	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC
Combustibles basados en el carbón	91-100%	99%	98%
Calentadores nuevos		99%	
Calentadores viejos		98%	
Calentadores Stoker		98%	
Combustibles basados en el gas natural	99-100%	100%	99.5%
Combustibles basados en el petróleo	97.5-100%	100%	99%
Motores de combustión interna de gasolina		100%	
Motores de combustión interna de diesel		99%	
Otros equipos de combustión		99%	

Combustible/tipo de tecnología	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC
Otros combustibles	91-100%	99%	
Turba (peat)		99%	99% ^a
Plásticos de desecho		99%	
Alquitrán		99%	
Combustibles derivados de llantas usadas		99%	
Biomasa	90-100%	98%	
Madera (seca)		98%	
Madera (húmeda)		98%	
Leña ("Fuelwood" approx. 20% humedad)		98%	
Licor negro		98%	
Gas de vertedero ^c		100%	
Biogás de tratamiento de aguas ^c		100%	
Biodiesel		99%	
Turpentina		100%	
Aceites vegetales		99%	

^a 99% para generar electricidad y <99% para uso comercial y residual.

Recuadro 68. Factores de emisión para metano y óxido nitroso para diferentes combustibles utilizados en la industria y en la generación de energía eléctrica. Tomado de (WRI, 2005)

Tipo de combustible / Sector	CH ₄		N ₂ O	
	(kg/GJ)*	(lb/Millón Btu)	(kg/GJ)	(lb/Millón Btu)
Carbón				
Generación de energía	0.001	0.002	0.001	0.003
Manufactura y construcción	0.011	0.024	0.001	0.003
Comercial / Institucional	0.011	0.024	0.001	0.003
Residencial	0.316	0.734	0.001	0.003
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.316	0.734	0.001	0.003
Gas natural				
Generación de energía	0.001	0.003	0.000	0.000
Manufactura y construcción	0.006	0.013	0.000	0.000
Comercial / Institucional	0.006	0.013	0.000	0.000
Residencial	0.006	0.013	0.000	0.000
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.006	0.013	0.000	0.000
Petróleo				
Generación de energía	0.003	0.007	0.001	0.001
Manufactura y construcción	0.002	0.005	0.001	0.001
Comercial / Institucional	0.011	0.024	0.001	0.001
Residencial	0.011	0.024	0.001	0.001
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.011	0.024	0.001	0.001
Madera y pulpa de madera				

Tipo de combustible / Sector	CH ₄		N ₂ O	
	(kg/GJ)*	(lb/Millón Btu)	(kg/GJ)	(lb/Millón Btu)
Generación de energía	0.032	0.073	0.004	0.010
Manufactura y construcción	0.032	0.073	0.004	0.010
Comercial / Institucional	0.316	0.734	0.004	0.010
Residencial	0.316	0.734	0.004	0.010
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.316	0.734	0.004	0.010
Carbón activado (Charcoal)				
Generación de energía	0.211	0.489	0.004	0.010
Manufactura y construcción	0.211	0.489	0.004	0.010
Comercial / Institucional	0.211	0.489	0.001	0.002
Residencial	0.211	0.489	0.001	0.002
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.211	0.489	0.001	0.002
Otros, biomasa y desechos				
Generación de energía	0.032	0.073	0.004	0.010
Manufactura y construcción	0.032	0.073	0.004	0.010
Comercial / Institucional	0.316	0.734	0.004	0.010
Residencial	0.316	0.734	0.004	0.010
Agricultura/Silvicultura/Pesca	0.316	0.734	0.004	0.010

* Al convertir unidades, puede ser necesario incrementar las cifras significativas para mantener la precisión del cálculo.

Recuadro 69. Densidades para diferentes combustibles utilizados en la industria y en la generación de energía eléctrica. Tomado de (WRI, 2005)

Tipo de combustible	Gaseoso (kg/m ³) ^{a,b}		Líquido (kg/L) ^b		Gaseoso (lb/ft ³) ^{a,b}		Líquido (lb/gal) ^b	
	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico
Combustibles basados en el carbón								
Carbón de antracita								
Carbón bituminoso								
Carbón sub-bituminoso								
Carbón de lignito								
Carbón de coque								
Combustible patentado								
BKB								
Combustibles basados en el gas natural^c								
Gas natural	0.6-0.9	0.7			0.037-0.055	0.043		
Gas natural seco	0.6-0.9	0.7			0.037-0.056	0.043		
Metano	-	0.67			-	0.042		
Etano	-	1.3			-	0.079		
Propano	-	1.9			-	0.12		
Butano	-	2.5			-	0.16		

Tipo de combustible	Gaseoso (kg/m ³) ^{a,b}		Líquido (kg/L) ^b		Gaseoso (lb/ft ³) ^{a,b}		Líquido (lb/gal) ^b	
	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico
Isobutano	-	2.5				-	0.16	
n-Butano	-	2.5				-	0.16	
Líquidos del gas natural			0.42-0.54	0.47				3.5-4.5 3.9
Combustibles basados en el petróleo								
Petróleo crudo			0.7-0.9	0.8				5.8-7.5 6.7
Gasolina de motor/petrol			0.73-0.76	0.74				6.1-6.3 6.2
Gasolina de aviación			0.7-0.72	0.71				5.8-6.0 5.9
Destilados			0.82-0.95	0.84				6.8-7.9 7.0
Combustóleo No.1			0.82-0.85	0.84				6.8-7.1 7.0
Combustóleo No.2			0.82-0.85	0.85				6.8-7.1 7.1
Combustóleo No.4			0.91-0.95	0.93				7.6-7.9 7.8
Destilados residuales			0.93-1.03	0.94				7.8-8.6 7.8
Combustóleo No.5			0.93-0.95	0.94				7.8-7.9 7.8
Combustóleo No.6			0.89-1.01	0.94				7.4-8.5 7.8
Keroseno para jet			0.76-0.83	0.79				6.3-6.9 6.6
Keroseno (otro)			0.79-0.82	0.80				6.6-6.8 6.7
Coque de petróleo								
Gas LP			0.53-0.55	0.54				4.5-4.6 4.5
Nafta			0.75-0.82	0.77				6.3-6.8 6.4
Asfalto/bitumen								
Pitch								
Lubricantes			0.8-1.1	1.0				6.7-9.2 8.3
Ceras								
Shale oil (liquid)			0.96-1.00	1.0				8.0-8.3 8.3
Oil shale								
Otros combustibles								
Peat ^b								
Plásticos de desperdicio								
Alquitrán								
Combustible derivado de llantas								
biomasa								
Madera (seca)								
Madera (húmeda)								
Fuelwood (approx. 20% humedad)								
Licor negro								
Gas de vertedero ^c	0.67-1.2	0.9				0.042-0.075	0.056	
Biogás de tratamiento de	0.67-1.2	0.9				0.042-0.076	0.056	

Tipo de combustible	Gaseoso (kg/m ³) ^{a,b}		Líquido (kg/L) ^b		Gaseoso (lb/ft ³) ^{a,b}		Líquido (lb/gal) ^b	
	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico
aguas ^c								
Biodiesel			0.96-1.00	0.85			6.9-7.2	7.0
Turpentina			-	0.87			-	7.2
Aceites vegetales			0.96-1.00	0.90			7.4-7.5	7.5

a Los valores de densidad son muy sensibles a los cambios en la temperatura y presión. Los valores mostrados son a temperatura ambiente y presión atmosférica estándar.

b Seco a menos que se mencione lo contrario.

c A temperatura ambiente y presión atmosférica estándar.

La SEMARNAT utiliza los factores del IPCC para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Para otros contaminantes se puede recurrir al AP42 Sección I “External combustion sources” y en la sección III “Stationary internal combustion sources”. El compilado de factores de emisión del WebFIRE incluye a todos presentes en el AP42 y otros usados en donde se pueden consultar de forma rápida.

Emisión de dioxinas y Furanos (PNUMA)

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), división de Tecnología, Industria y Economía dentro del marco del Programa Interinstitucional para el manejo adecuado de los productos químicos (IOMC que es un acuerdo de colaboración entre el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE), publicó en diciembre del año 2005, el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos que muestra los resultados de estudios realizados para identificar y cuantificar la emisión de dioxinas y furanos en la industria mediante herramientas de cálculo como factores de emisión, mismos que se muestran a continuación (PNUMA, 2005).

Nota importante de las Naciones Unidas sobre la información presentada: Con el fin de evitar errores en el uso de esta información, es necesario que los usuarios lean y comprendan el documento fuente (PNUMA, 2005) antes de utilizar la información de factores de emisión presentada en el mismo.

Recuadro 70. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de incineración de desechos. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	
								Cen. vol.	Cen. dep
1			Incineración de desechos						
	a		Incineración de desechos sólidos municipales						

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	
								Cen. vol.	Cen. dep
		1	Tecnología simple de combustión, sin sistema CCA	3,500		NA	NA	0	75
		2	Combustión controlada, mínimo SCCA	350		NA	NA	500	15
		3	Combustión controlada, buen SCCA	30		NA	NA	200	7
		4	Alta tecnología combustión, SCCA sofisticado	0.5		NA	NA	15	1.5
	b		Incineración de desechos peligrosos						
		1	Tecnología simple de combustión, sin sistema CCA	35,000		NA	NA	9,000	
		2	Combustión controlada, mínimo SCCA	350		NA	NA	900	
		3	Combustión controlada, buen SCCA	10		NA	NA	450	
		4	Alta tecnología combustión, SCCA sofisticado	0.75		NA	NA	30	
	c		Incineración de desechos médicos						
		1	combustión en lotes, sin o mínimo SCCA	40,000		NA	NA		200
		2	Combustión controlada en lotes, sin o mínimo SCCA	3,000		NA	NA		20
		3	Combustión controlada en lotes, buen SCCA	525		NA	NA	920	
		4	Alta tecnología continua, SCCA sofisticado	1		NA	NA	150	
	d		Incineración de agregados ligeros						
		1	Combustión en lotes, sin o mínimo SCCA	1,000		NA	NA	ND	ND
		2	Combustión controlada en lotes, sin o mínimo SCCA	50		NA	NA		
		3	Alta tecnología continua, SCCA sofisticado	1		NA	NA	150	
	e		Incineración de lodos de alcantarilla						
		1	Hornos antiguos, en lotes, sin/escaso SCCA	50		NA	NA	23	
		2	Actualizado, continuo, algún SCCA	4		NA	NA	0.5	
		3	Estado del arte, SCCA completo	0.4		NA	NA	0.5	

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	
								Cen. vol.	Cen. dep
	f		Incineración de desechos de madera y de biomasa						
		1	Hornos antiguos, en lotes, sin/escaso SCCA	100		NA	NA	1,000	
		2	Actualizado, continuo, algún SCCA	10		NA	NA	10	
		3	Estado del arte, SCCA completo	1		NA	NA	0.2	
	g		Combustión de carcasas de animales						
		1	Hornos antiguos, por lotes, en lotes, sin/escaso SCCA	500		NA	NA		
		2	Actualizado, continuo, algún SCCA	50		NA	NA		
		3	Estado del arte, SCCA completo	5		NA	NA		

Recuadro 71. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de metales ferrosos y no ferrosos (incluye tratamientos superficiales en inmersiones calientes). Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos					
	a		Sinterización de hierro					
		1	Alto reciclado de desechos, incl. materiales contaminados por aceite	20	ND	ND	ND	0.003
		2	Escasa utilización de desechos, planta bien controlada	5	ND	ND	ND	0.003
		3	Alta tecnología, reducción de emisiones	0.3	ND	ND	ND	0.003
	b		Producción de coque					
		1	Sin limpieza del gas	3	0.06	ND	ND	ND
		2	SCCA con postcombustión/retención del polvo	0.3	0.06	ND	ND	ND
	c		Plantas de producción de hierro y acero y fundiciones					
			Plantas de hierro y acero					
		1	Chatarra sucia, pre tratamiento de la chatarra, controles limitados	10	ND	ND	NA	15
		2	Chatarra limpia/hierro virgen, postcombustión y	3	ND	ND	NA	15

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			filtro de tela					
		3	Chatarra limpia/hierro virgen, postcombustión, hornos BOF, EAF	0.1	ND	ND	NA	1.5
		4	Altos hornos con SCCA	0.01	ND	ND	NA	ND
			Fundiciones					
		1	Cubilote de aire frío o tambor rotatorio sin SCCA	10	ND	ND	ND	ND
		2	Tambor rotatorio, filtro de tela	4.3	ND	ND	NA	0.2
		3	Cubilote de aire frío, filtro de tela	1	ND	ND	NA	8
		4	Cubilote de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela (fundería)	0.03	ND	ND	NA	0.5
			Plantas de galvanizado por inmersión en caliente					
		1	Instalaciones sin SCCA	0.06	NA	NA	NA	ND
		2	Instalaciones sin etapa de desengrasado, buen SCCA	0.05	NA	NA	NA	2,000
		3	Instalaciones con etapa de desengrasado, buen SCCA	0.02	NA	NA	NA	1,000
	d		Producción de cobre					
		1	Sec. Cu - tecnología básica	800	ND	ND	ND	630
		2	Sec. Cu - bien controlada	50	ND	ND	ND	630
		3	Sec. Cu - control óptimo de PCDD/PCDF	5	ND	ND	ND	300
		4	Fundición y moldeado de Cu/aleaciones de Cu	0.03	ND	NA	NA	ND
		5	Cu primario, bien controlado, con alimentación de materiales secundarios	0.01	ND	NA	NA	ND
		6	Fundición primaria de cobre sin alimentación de materiales secundarios	ND	ND	NA	NA	NA
	e		Producción de aluminio					
		1	Procesamiento de chatarra de Al, tratamiento mínimo de material de entrada y simple retención del polvo	150	ND	NA	NA	200
		2	Tratamiento la chatarra bien controlado, buen SCCA	35	ND	NA	NA	400
		3	Tratamiento la chatarra bien controlado, filtro de manga, inyección de cal	5	ND	NA	NA	100
		4	Proceso optimizado para el abatimiento de PCDD/PCDF	1	ND	NA	NA	100
		5	Secado de virutas,	5	ND	NA	NA	NA

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			raspaduras (plantas simples)					
		6	Desengrasado térmico, horno rotativo, postcombustión, filtro de manga	0.3	NA	NA	NA	NA
		7	Plantas de aluminio primario puro	ND	NA	NA	NA	ND
	f		Producción de plomo					
		1	Producción de Pb a partir de chatarra separadores de batería de PVC	80	ND	NA	NA	ND
		2	Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ algún SCCA	8	ND	NA	NA	5
		3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos modernos, con depurador	0.5	ND	NA	NA	ND
		4	Producción de plomo primario	0.3	ND	NA	NA	ND
	g		Producción de zinc					
		1	Horno sin ningún control de polvo	1,000	ND	NA	NA	ND
		2	Hornos de briquetado en caliente/rotativos, control básico	100	ND	NA	NA	ND
		3	Controles de contaminación completos,	5	ND	NA	NA	ND
		4	Fusión del zinc	0.3	ND	NA	NA	ND
		5	Producción de zinc primario	ND	ND	NA	NA	ND
	h		Producción de bronce y latón					
		1	Eliminación térmica de aceites de las virutas	2.5	NA	NA	NA	NA
		2	Hornos de fundición simples	10		NA	NA	ND
		3	Chatarra mezclada, hornos de inducción, filtros de tela	3.5	ND	NA	NA	125
		4	Equipos sofisticados, como hornos de inducción con SCCA	0.1	ND	NA	NA	ND
	i		Producción de magnesio					
		1	Producción mediante termo tratamiento de MgO/C en Cl ₂ ; sin tratamiento del efluente, deficiente S CCA	250	9,000	NA	ND	0
		2	Producción mediante de MgO/C en Cl ₂ , control completa de la contaminación	50	24	NA	ND	9,000
		3	Proceso de reducción	3	ND	NA	NA	ND

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/t}$)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			térmica					
	j		Producción térmica de metales no ferrosos (ej. Ni)					
		1	Chatarra contaminada, simple o ningún SCCA	100	ND	ND	ND	ND
		2	Chatarra limpia, buen SCCA	2	ND	ND	ND	ND
	l		Trituradora (p.ej. automóviles)					
		1	Plantas de desguaces de metales	0.2	NA	NA	ND	ND
	m		Recuperación térmica de cobre de cables					
		1	Quema de cables a cielo abierto	5,000	ND	ND	ND	ND
		2	Horno básico con postcombustión y depurador húmedo	40	ND	NA	ND	ND
		3	Quema de motores eléctricos y zapatas de freno, etc.; dotado de postcombustión	3.3	ND	NA	ND	ND

Recuadro 72. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de energía y calefacción. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/TJ}$)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
3			Generación de energía y calefacción					
	a		Centrales eléctricas de combustibles fósiles					
		1	Calderas de energía que queman conjuntamente desechos/ combustible fósil	35	ND	NA	NA	ND
		2	Calderas de energía que queman carbón	10	ND	NA	NA	14
		3	Calderas de energía que queman aceite pesado	2.5	ND	NA	NA	ND
		4	Plantas de generación de energía que queman esquisto bituminoso	1.5	ND	NA	NA	ND
		5	Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural	0.5	ND	NA	NA	ND
	b		Centrales eléctricas de biomasa					
		1	Calderas alimentadas por biomasa (ex. madera)	500	ND	NA	NA	ND
		2	Calderas alimentadas por	50	ND	NA	NA	15

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/TJ}$)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			madera limpia					
	c		Combustión de gas proveniente de rellenos sanitarios, biogás					
		1	Calderas que queman gas de relleno/biogás, motores/turbinas/antorchas, quema con llama	8	ND	NA	NA	NA
	d		Combustión de biomasa para uso doméstico (calefacción, cocina)					ng EQT/kg cenizas
		1	Estufas alimentadas por madera contaminada/ biomasa	1,500	ND	NA	NA	1,000
		2	Estufas alimentadas por madera virgen/biomasa	100	ND	NA	NA	10
	e		Calefacción doméstica-combustibles fósiles					ng EQT/kg cenizas
		1	Estufas que queman carbón con alto contenido de cloro	15,000	ND	NA	NA	30,000
		1	Estufas que queman carbón	100	ND	NA	NA	5,000
		2	Estufas que queman petróleo	10	ND	NA	NA	NA
		3	Estufas que queman gas natural	1.5	ND	NA	NA	NA

Recuadro 73. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de productos minerales. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/t}$)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
4			Producción de productos minerales					
	a		Hornos de cemento					
		1	Hornos de ejosa vertical	5	NA	NA	ND	ND
		2	Hornos antiguos húmedos, temperatura del PES > 300 °C	5	NA	ND	ND	NA
		3	Hornos húmedos, temperatura PES/FT de 200 °C a 300°C	0.6	NA	ND	ND	NA
		4	Hornos húmedos, temperatura de PES/FT < 200°C y todos los tipos de hornos secos con pre calcinador/pre calentador, temperatura < 200°C	0.05	NA	ND	ND	NA
	b		Cal					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o contaminados	10	ND	ND	ND	ND
		2	Buena retención de polvo	0.07	ND	ND	ND	ND
	c		Ladrillos					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o	0.2	NA	ND	ND	ND

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			contaminados					
		2	Buena retención de polvo	0.02	NA	ND	ND	ND
	d		Vidrio					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o contaminados	0.2	NA	ND	ND	ND
		2	Buena retención de polvo	0.015	NA	ND	ND	ND
	e		Cerámica					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o contaminados	0.2	NA	ND	ND	ND
		2	Buena retención de polvo	0.02	NA	ND	ND	ND
	f		Mezclado de asfalto					
		1	Planta de mezclado sin depuración de gases	0.07	NA	ND	ND	ND
		2	Planta de mezclado con filtro de tela, depurador húmedo	0.007	NA	ND	ND	0.06
	g		Procesamiento de esquistos bituminosos					
		1	Fraccionamiento térmico	ND	ND	ND	ND	ND
		2	Pirolisis de esquistos bituminosos	0.003	NA	ND	0.07	2

Recuadro 74. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de productos minerales. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
5			Transportes					
	a		Motores de 4 tiempos					
		1	Combustible con plomo	2.2	NA	NA	NA	NA
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	0.1	NA	NA	NA	NA
		3	Combustible sin plomo, con catalizador	0.00	NA	NA	NA	NA
	b		Motores de 2 tiempos					
		1	Combustible con plomo	3.5	NA	NA	NA	NA
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	2.5	NA	NA	NA	NA
	c		Motores diesel					
		1	Motores diesel	0.1	NA	NA	NA	ND
	d		Motores de aceite pesado					
		1	Todos los tipos	4	NA	NA	NA	ND

Recuadro 75. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de combustión a cielo abierto. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
6			Procesos de combustión a cielo abierto					
	a		Quemas/fuegos de biomasa					
		1	Incendios forestales	5	ND	4	NA	ND
		2	Incendios de praderas y brezos	5	ND	4	NA	ND
		3	Quema de residuos agrícolas (en el campo), impactados, en condiciones deficientes de combustión	30	ND	10	NA	ND
		4	Quema de residuos agrícolas (en el campo), no impactados	0.5	ND	10	NA	ND
	b		Incendios, quema de desechos, incendios de vertederos, incendios industriales, incendios accidentales					
		1	Incendios de vertederos	1,000	ND	600	NA	600
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	ND	400	NA	400
		3	Quema no controlada de desechos domésticos	300	ND	600	NA	600
		4	Incendios accidentales de vehículos (por vehículo)	94	ND	18	NA	18
		5	Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	10	NA	10

Recuadro 76. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de productos químicos y bienes de consumo. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
7			Producción de químicos y bienes de consumo					
	a		Fábricas de pasta y papel*					
			<i>Calderas (per tonelada de pulpa)</i>					
		1	Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0.07				NA
		2	Calderas de cortezas solamente	0.2				50
			<i>Descargas acuosas y productos</i>					
		1	Proceso Kraft, gas cloro, fibras no madera, impactadas		ND		30	ND
		2	Proceso kraft, antigua tecnología (Cl ₂)		4.5		8	4.5
		3	Proceso kraft, tecnología mixta		1		3	1.5
		4	Papeles/pastas al sulfito, antigua tecnología		ND		1	ND
		5	Proceso kraft, moderna tecnología (ClO ₂)		0.06		0.5	0.2
		6	Papel al sulfito, nueva tecnología		ND		0.1	ND

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			(ClO ₂ , TLC)					
		7	Pasta reciclada		ND		1	ND
		8	Papeles reciclados provenientes de desechos de papel contaminados		ND		10	
		9	Papeles/pulpas recicladas de papeles modernos		ND		3	ND
	b		Industria química					
			<i>Pentaclorofenol (PCP)</i>					
		1	Producción europea/americana (cloración de fenol con Cl ₂)				2,000,000	
		2	Producción china (termólisis de HCH)				800,000	
		3	PCP-Na				500	
			<i>Bifenilos policlorados (BPC)</i>					
		1	Poco clorado, como Clophen A30, Aroclor 1242				15,000	
		2	Clorado medio, como Clophen A40, Aroclor 1248				70,000	
		3	Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254				300,000	
		4	Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260				1,500,000	
			<i>Plaguicidas clorados</i>					
		1	Acido, 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), puro				7,000	
		2	2,4,6-triclorofenol (2,4,6-PCPh)				700	
		3	Dichlorprop				1,000	
		4	Acético, 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)				700	
		5	Eter, 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo (CNP = cloronitrofen)					
			Antigua tecnología				300,000	
			Nueva tecnología				400	
			<i>Cloroanilo</i>					
		1	p-cloroanilo por cloración de fenol				400,000	
		2	p-cloroanilo por hidroquinona				100	
		3	Colorantes con base de cloroanilo (antiguo proceso, clase 1)				1,200	
		4	o-cloroanilo por cloración de fenol				60,000	
			<i>Clorobencenos</i>					
		1	p-diclorobencenos	ND	NA	NA	39	ND
		2	o-diclorobencenos	ND	NA	NA	0	ND
		3	1,2,4-Triclorobenceno	ND	NA	MA	0	3,000
			Producción de cloro alcali					
			Producción de cloro alcali usando ánodos de grafito	NA	NA	NA	NA	1,000
			<i>ECD/VCM/PVC</i>					

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		1	Antigua tecnología, EDC/VCM/PVC		1	NA		ND
		2	Plantas modernas, EDC/VCM/PVC	0.4	0.5	NA	0.03	10
		3	Plantas modernas, PVC solamente	0.0003	0.03	NA	0.1	0.2
	c		Industria de petróleo					
		1	Todos tipos (antorchas) (µg EQT/TJ)**	8	NA	NA	NA	ND
	d		Plantas textiles					
		1	Límite superior	NA	ND	NA	100	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	0.1	ND
	e		Plantas de cuero					
		1	Límite superior	NA	ND	NA	1,000	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	10	ND

*Los factores de emisión se refieren a toneladas de pulpa secadas por aire (tSA)

**expresado en TJ. El factor de emisión en base al volumen de gas quemado, es de 0,0003 µg TEQ/m³

Recuadro 77. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de producción de productos químicos y bienes de consumo (complemento). Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategoría	Vía posible de liberación (µg EQT/t)	
				Agua (pg EQT/L)	Residuo (µg EQT/t lodos)
7	a		Industria de pulpa y papel		
			<i>Liberaciones al agua</i>		
		1	Proceso Kraft, gas cloro, fibra distinta de madera, tratamiento con PCP	300	ND
		2	Proceso Kraft, tecnología antigua (Cl ₂)	70	100
		3	Tecnología mixta (TLC pero parcialmente Cl ₂ en la primer etapa)	15	30
		4	Papeles al sulfito, tecnología antigua (libre de cloro)	2	ND
		5	Proceso Kraft, tecnología moderna (ClO ₂)		10
		6	Papeles al Sulfito, nueva tecnología (ClO ₂ , TLC)		ND
		7	Pasta termo mecánica		
		8	Papel reciclado de desecho de papel contaminado*	30	30
		9	Papel reciclado de papeles modernos	ND	ND

Recuadro 78. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de varios tipos. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)
------	---------	---------------------------	--------------------------------------

		Clase		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
8			Varios					
	a		Secado de biomasa					
		1	Madera limpia	0.007	NA	ND	0.1	ND
		2	Forraje verde	0.1	NA	ND	0.1	ND
		3	Biomasa tratada con PCP o de otra manera	10	NA	ND	0.5	ND
	b		Crematorios					
		1	Sin control (por cremación)	90	NA	ND	NA	NA
		2	Control intermedio (por cremación)	10	NA	ND	NA	2.5
		3	Control óptimo (por cremación)	0.4	NA	ND	NA	2.5
	c		Ahumaderos					
		1	Combustión de madera tratada combinada de desechos	50	NA	ND	ND	2,000
		2	Combustible limpio, sin postcombustión	6	NA	ND	ND	20
		3	Combustible limpio, con postcombustión	0.6	NA	ND	ND	20
	d		Residuos de limpieza en seco					
		1	Textiles pesados, tratados con PCP, etc.	NA	NA	NA	NA	3,000
		2	Textiles normales	NA	NA	NA	NA	50
	e		Consumo de tabaco					
		1	Cigarros puros (por unidad)	0.3	NA	NA	NA	NA
		2	Cigarrillos (por unidad)	0.1	NA	NA	NA	NA

Recuadro 79. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de disposición final. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/t}$)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
9			Manejo de desechos		$\mu\text{g TEQ/m}^3$			$\mu\text{g TEQ/m}^3$
	a		Lixiviado de rellenos					
		1	Desechos peligrosos*	NA	0.2	NA	NA	50
		2	Desechos non peligrosos*	NA	0.03	NA	NA	6
	b		Desagües de cloacas y tratamiento					
		1	Industriales, domésticas mezclada con posibilidad de cloro	NA				
			Sin evacuación de lodo	NA	0.005	NA	NA	1,000
			Con evacuación de lodo	NA	0.0005	NA	NA	1,000
		2	Ambiente urbano					
			Sin evacuación de lodo	NA	0.002	NA	NA	100
			Con evacuación de lodo	NA	0.0005	NA	NA	100
		3	Plantas de tratamiento remotas y residenciales o modernas	NA	0.0001	NA	NA	10

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (μg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
	c		Vertido al agua					
			Industriales, domésticas mezclada con posibilidad de cloro	NA	0.005	NA	NA	NA
			Ambiente urbano	NA	0.0002	NA	NA	NA
			Plantas de tratamiento remotas y residenciales o modernas	NA	0.0001	NA	NA	NA
	d		Compostado					
		1	Todas las fracciones orgánicas	NA	NA	NA	100	NA
		2	Desechos de jardín, cocina	NA	NA	NA	15	NA
		3	Materiales verdes; ambientes no impactados	NA	NA	NA	5	NA
	e		Eliminación de desechos de aceites					

*Sin remoción de lodos. Los lodos que se pierden en el sistema de canales o se remueven tienen que ser estimados. No hay una fórmula general para esta estimación.

Recuadro 80. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos generados en puntos calientes en la industria. Tomado de (PNUMA, 2005).

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Producto(μg EQT/t)
10			Identificación de puntos calientes	
	a		Sitios de producción de sustancias orgánicas cloradas	
		1	Clorofenoles y derivados de PCB	
		2	Otras sustancias orgánicas cloradas	
	b		Lugares de producción de cloro	
		1	Con electrodos de grafito	
		2	Sin electrodos de grafito	
	c		Preparación de fenoles/plaguicidas clorados	
	d		Lugares de aplicación de plaguicidas contaminados por dioxina	
	e		Fabricación de madera	
		1	Con uso de pentaclorofenol, otros conservadores que contienen dioxina	
		2	Sin uso de PCP, no abiertos al medio ambiente	
	f		Fabricación de madera	
			Con uso de pentaclorofenol, otros conservadores que contienen dioxina	15,000
			Sin uso de PCP, no abiertos al medio ambiente	70,000
			Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254	300,000
			Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260	1,500,000
		1	Con derrames	
		2	Sin derrames	

	g		Vertidos de desechos/residuos de categorías 1-9	
	h		Lugares de accidentes importantes	
	i		Dragado de sedimentos	

DESARROLLO DE FACTORES DE EMISIÓN

PROTOCOLO GENERAL

Un factor de emisión es una herramienta para estimar la emisión de contaminantes al medio ambiente, generados durante un proceso productivo o actividad. Este factor, usualmente un número, relaciona una cierta cantidad de uno o más contaminantes liberados al medio ambiente con otro valor que a su vez se involucra un aspecto del proceso productivo o actividad realizada. En muchos casos, los usuarios de estos factores asumen que estos factores son un promedio de emisiones a largo plazo de las instalaciones o puntos de emisión de alguna categoría.

Para ciertas actividades, las emisiones se estiman a partir de ecuaciones empíricas. En el caso típico, éstas relacionan variables independientes de la fuente a sus emisiones. Dependiendo del criterio del usuario, estas herramientas pueden ser clasificadas como factores de emisión o no, la USEPA por ejemplo si los clasifica como tales aunque son relativamente pocos comparados con los primeros pues requieren de una mayor inversión y tiempo, por lo que sus resultados deben de valer la pena al estimar emisiones, cosa que no siempre se consigue. Otras herramientas de estimación tienen una mayor precisión y exactitud en la estimación de emisiones son los balances de materia y energía, consideraciones de ingeniería y modelos matemáticos generalmente aplicados a un programa de cálculo, estas herramientas en algunos casos, pueden simplificar su contenido hasta generar factores de emisión como los antes descritos, haciendo la estimación más simple y manteniendo un nivel de exactitud y precisión aceptables o incluso buenos.

Puesto que la generación de factores de emisión es una tarea que no puede generarse sin la participación de las personas involucradas en el proceso o actividad que genera emisiones, como investigadores, diseñadores, constructores, operadores entre otros. Las autoridades involucradas en la generación de políticas ambientales, (que también se relacionan con las económicas y sociales), alientan a dichas personas a participar. Todos pueden hacerlo (incluso deben hasta cierto punto), usualmente aquellos que operan los procesos o actividades generadoras, son los que más frecuentemente, en colaboración con alguna autoridad, generan estas herramientas por estar directamente en contacto con la fuente y lidiar con los diferentes aspectos de ella, entre ellos el ambiental (al menos lo mínimo pedido por las regulaciones ambientales actuales).

Para generar factores de emisión en una empresa, proceso o actividad que genera emisiones contaminantes, se tiene que hacer un esfuerzo que muchas veces está

muy relacionado con el conocimiento y control del proceso productivo (generador de emisiones). El contar con un buen control y administración muchas veces hace más fácil es generar estos factores, a continuación se dan una serie de recomendaciones para que una empresa pueda contribuir con factores de emisión que mejoren la estimación de emisiones de contaminantes.

Política ambiental

Esta tarea consiste en fijar una política ambiental en la empresa que realiza el proceso o actividad generadora de emisiones, es decir, la empresa tiene que tomar una decisión sobre que tan importante es el aspecto ambiental es para ella y de qué forma va a empujarla (comunicación interna, asignación de responsabilidades, presupuestos, metas y objetivos, fechas límite, medición de avances) y manifestarla en hechos concretos (resultados cuantificables preferentemente).

Decisión

Para la generación de factores de emisión, muchas veces es necesario hacer un espacio en la política antes citada para la generación de herramientas de estimación de emisiones, en primera instancia para medir las propias y así poder detectar áreas de oportunidad y determinar medidas para mejorarlas. En segunda, para aportar la información generada y ayudar a la autoridad y a otras empresas para hacer estimaciones de emisión de contaminantes y/o mejorar las existentes.

Por lo general, las empresas de transformación (sector químico, metalúrgico, minero, petrolero entre otras) tienen actualmente una serie de políticas como la ambiental, la económica, de manejo de recursos, personal tecnología, entre muchas otras que se relacionan unas con otras, en donde se puede incluir este esfuerzo (si es que no se hace ya) o mejorarlo, por ejemplo para revisar los factores existentes, actualizarlos, publicarlos etc.

En algunas casos, el personal de investigación, ingeniería o algún otro, puede tener parte del trabajo hecho (incluso sin una política explícita de la compañía) por la naturaleza de sus responsabilidades, lo que hace que el trabajo más rápido, fácil y en ocasiones más barato.

Obtención de información

Ya que hay la decisión de hacer esta aportación, lo primero consiste en recolectar toda la información disponible al respecto, es decir, la información del proceso, de contaminantes que se puedan generar, los estudios que se han realizado (del proceso o actividad propia u otras similares), la información de instituciones dedicadas al medio ambiente (como la USEPA de los Estados Unidos de América, los documentos del NPI de Australia, los documentos BREF de la Unión Europea y generados (a partir de los BREF) por cada país (España y Alemania han desarrollado guías particulares para sus necesidades) entre otras (Canadá, Japón etc.).

Definición de un candidato para factor de emisión

A partir del análisis de la información, se determina que factores de emisión vale la pena generar. Esta decisión puede estar en función de los siguientes criterios:

1. De un área de oportunidad en las listas de factores de emisión existentes (USEPA, NPI, BREF, etc.) ya sea para generar uno no existente para el caso particular de la empresa o para mejorar actualizar algunos otros. Sobre todo para contaminantes regulados local, nacional o internacionalmente y/o particularmente agresivos para la salud humana y/o el medio ambiente en general.
2. Según la posibilidad de generar datos apropiados para el trabajo (o existencia de éstos), dependiendo de cuestiones técnicas.
3. Según los recursos económicos, humanos y tecnológicos estimados para la generación del trabajo.

Realización

Esta etapa depende de las previas y será en función a lo que se haya determinado, las actividades a realizar pueden ser desde la implementación de una bitácora de registro de emisiones clara y confiable con el posterior análisis matemático hasta la definición de un plan de muestreo, asignación de personal y recursos, contratación de expertos (particulares o con las autoridades correspondientes) y/o empresas para diversas tareas (equipo de muestreo adicional, laboratorios certificados).

Para validez, o incluso publicar el factor en algún documento oficial (como el AP42 de la USEPA), es importante tomar en cuenta los protocolos que el editor de dicho documento toma en cuenta para poder incluirlo y clasificarlo, la clasificación consiste en darle un valor de confianza o solidez para ser utilizado o no por un tercero y para poder, en algún momento, tener una idea o incluso un cálculo de la incertidumbre de los estimados de emisiones.

Nota: La validación de la forma de calcular o estimar emisiones es importante porque esta información es de interés para autoridades reguladoras de emisiones en todos los niveles y sirve para determinar políticas ambientales que buscan beneficiar a todos, por lo que es sumamente recomendable que se tomen en cuenta disipaciones de estos organismos (SEMARNAT, USEPA, NPI, BREF etc.)

Análisis de datos

Ya que se han obtenido los datos, o en algunos casos, se ha implementado el sistema de obtención de ellos (como los monitoreos continuos en línea), ahora se tiene que elegir un protocolo adecuado para generar el factor de emisión, esta forma depende mucho del tipo de información generada, se pueden usar desde promedios aritméticos hasta ajustes de datos (regresiones polinomiales, logarítmicas, comparación de poblaciones etc.).

En el caso de que se esté haciendo un balance de materia y/o energía del proceso, los resultados de estos análisis sirven para poder afinar sus resultados, darles mayor solidez y en ocasiones a partir de estos balances, hacer factores de emisión.

Si se tiene algún algoritmo de cálculos de ingeniería o incluso un modelo matemático (implementado de alguna forma), los análisis sirven para comparar las predicciones hechas por estas herramientas con la realidad y afinar sus parámetros. En los últimos casos (balances, cálculos de ingeniería, modelos matemáticos) por lo general el esfuerzo y costo del esfuerzo es mucho mayor al de solo generar factores de emisión, además la planeación de actividades suele ser considerablemente diferente (y algunas veces mucho más compleja) aunque se espera que los resultados sean notablemente más exactos y precisos.

En algunos casos, las herramientas muy precisas y exactas de estimación de emisiones no son más adecuadas que los factores de emisión para otras empresas que tienen procesos similares ya que requieren de más información, de un mayor conocimiento del proceso y muchas veces, aunque sean procesos similares, se tienen particularidades que el primer proceso (el que generó la herramienta) tiene o no respecto al segundo (el que tiene la empresa que quiere usar la herramienta), por lo que si del balance, cálculos de ingeniería o modelo matemático se pueden derivar factores de emisión más generales, la aportación a la comunidad es más útil.

Igual que en el caso anterior, es importante que el análisis de la información sea el adecuado para poder publicar el factor de emisión. Algunas instituciones como la EPA revisan los protocolos de análisis de datos (adecuados o aprobados) para publicar el factor de emisión y calificarlo.

Determinación de la herramienta (usualmente el valor del factor de emisión)

Ya con los análisis hechos adecuadamente se determina el valor del factor de emisión, se hace la clasificación (en el caso de la USPEA por lo pronto), se integra la documentación correspondiente de apoyo y de ser posible se compara con resultados de otros procesos similares.

Muchas veces, las instituciones ambientales (como la USEPA) toman los datos o “factores” (previamente escogidos) de distintas empresas o plantas con algún proceso o actividad similar para hacer un análisis más grande y determinar un factor más general. De ser el caso, este proceso se documenta también para hacerlo accesible al que requiera conocer como fue obtenido el factor de emisión en cuestión y determinar si es útil o no a sus intereses o al menos saber que tan confiable es.

Responsabilidad asociada al uso de factores de emisión generados por el usuario

Puesto que la generación de factores de emisión generados por la industria puede llegar a representar un conflicto de intereses al ser las emisiones de contaminantes (particularmente de algunos) un aspecto regulado y cuyo control y prevención puede

implicar inversiones cuantiosas, es que se anima al industrial a ser responsable con su desarrollo y uso. También por este motivo es que instituciones como la USEPA tienen un sistema de reporte que documenta el desarrollo de estos factores de emisión para uso particular del que los creó (al menos) conocido como WebFIRE mediante el ERT (Electronic Reporting Tool). En México no existe todavía una estructura similar aunque si se le pide a la empresa que justifique con la SEMARNAT la estimación de sus emisiones y en este caso, la forma en que se desarrollo el factor de emisión propio.

En los Estados Unidos de América el mecanismo tiene un grado mayor de institucionalización y se describe brevemente ya que algo de su sistema se puede tomar como ejemplo (con las debidas proporciones y considerando las diferencias entre los dos países).

El ERT del WebFIRE es una aplicación hecha en Microsoft Access® hecha por la USEPA para ayudar a las empresas a planear y reportar los resultados de pruebas y monitoreos de emisiones (incluidos los enfocados a desarrollar factores de emisión). Esta aplicación reemplaza la planificación manual, la compilación de información y la elaboración del reporte, y las evaluaciones de calidad de los datos. Si es usado adecuadamente, el ERT también facilita la coordinación entre la empresa o instalación generadora de emisiones, el consultor o contratista encargado de las pruebas y la agencia de regulación (por ejemplo para cumplimiento y demostraciones) en la planificación y preparación de las pruebas de emisión. En la página de la USEPA están disponibles estas herramientas, que incluyen una versión en Microsoft Excel® del ERT y una lista de métodos de prueba de la USEPA.

El ERT documenta la siguiente información clave; parte de ella la requieren los métodos de prueba para fuentes (de contaminantes) estacionarios:

- Especificación del SCC (que es un código que describe su actividad industrial. Algunas empresas en México lo usan),
- Información del proceso sobre entradas de aire o venteos,
- Tasas de flujo durante la prueba,
- Descripciones de la fuente, unidad de proceso y sistemas de control asociados a la prueba,
- Fallos o anomalías de la operación del proceso durante la prueba,
- Diagrama de flujo del proceso,
- Lugares de muestreo,
- Métodos de prueba utilizados,
- Desviaciones hechas a partir de los métodos utilizados,
- Flujos de salida y concentraciones de contaminantes.

En el caso de México existen trámites que piden esta información para estudios de emisiones y hay empresas que los hacen que están debidamente capacitadas y acreditadas para apoyar a las generadoras (de emisiones). Sin embargo, para el

asunto de generar factores de emisión todavía hay que trabajar y lo hecho por la USEPA puede servir de apoyo.

ANÁLISIS DE DATOS PARA LA GENERACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN

Una vez que se tiene la información de las pruebas de emisión, es necesario contar con una serie de herramientas para garantizar que la información sea filtrada y manejada adecuadamente con el fin de generar el factor de emisión deseado. A continuación se presentan varios protocolos usados por la USEPA para analizar la información generada (en corridas de prueba, operación normal etc.) y poderla manejar adecuadamente.

Procedimientos para manejar datos que están por debajo del límite inferior de detección de la prueba

En algunos casos, el resultado de las emisiones de un proceso o actividad, no es una tasa de emisión de algún contaminante, sino una determinación en la que el contaminante “objetivo” no se encuentra presente ni sobre el límite mínimo de detección (LMD) del método de laboratorio utilizado. El LMD es la concentración mínima de una sustancia que puede ser medida y reportada con un nivel de confianza (estadística) determinada de que se encuentra presente en una concentración mayor a cero. Cada método o análisis tiene un LMD según sus características. Para este tipo de análisis, el nivel de confianza pedido es del 99% (de ahí que la USEPA tenga una lista de métodos de prueba). En otras palabras, el LMD es la cantidad (o concentración) más pequeña de una sustancia que el método analítico puede distinguir de cero con el nivel de confianza especificado, de la lectura producida por una muestra “blanco” o muestra de control.

El LMD es un parámetro estadístico y no químico ni fisicoquímico. Un LMD puede variar de una sustancia a otra y de un proceso de muestreo y análisis a otro. La variabilidad se debe a los analistas involucrados en el proceso, los equipos, sustancias químicas y procedimientos de control y aseguramiento de calidad empleados. En cada corrida es importante que se conozca el LMD definido con el intervalo de confianza seleccionado para poder procesar adecuadamente los resultados que están debajo de éste. Llamados DLD (debajo del límite de detección) para fines de este documento.

La USEPA ha desarrollado procedimientos específicos para los casos en donde algunos o todos los resultados recopilados de las pruebas o mediciones son DLD y posiblemente se incluyan en un juego de datos a usarse para desarrollar un factor de emisión. Estos son los siguientes.

Recuadro 81. Criterios usados por la USEPA para manejar colecciones de datos candidatas a integrar un factor de emisión, que contienen datos por debajo del límite de detección de la prueba analítica usada. Con información de la USEPA

Tipo de colección de datos	Procedimientos para manejar los datos
En la colección de datos todos están DLD	No se determina un factor de emisión; Se reporta

	que el factor esta DLD y el valor del LMD se agrega a los comentarios
La colección de datos contiene algunos valores DLD. Si el total de valores, después de eliminar aquellos superfluos, es de 10 o menos	El factor de emisión se calcula usando los valores por encima del límite de detección y usando ½ del LMD para cada valor DLD siempre y cuando el ½ del LMD es igual o menor al dato más alto de la colección. Cuando el ½ del LMD es mayor al valor más alto de la colección. El valor DLD es excluido
La colección de datos contiene datos DLD y después de eliminar aquellos superfluos, es de 11 o más.	Se excluyen del cálculo todos los valores DLD. Se toman en cuenta los demás

La USEPA considera que cada valor en una lista se integra como el promedio de al menos 3 corridas o tomas. Por lo que una colección de 10 valores o datos proviene de 30 muestras individuales. Esto es importante tomando en cuenta el teorema del límite central que dice a grandes rasgos que si se tienen 30 o más muestras individuales, la distribución de éstas se asemeja a una distribución normal (en caso de que esta distribución describa a la población) en cuyo caso las características estadísticas son fácilmente identificables y confiables.

El término “corrida” se refiere concretamente al tiempo requerido para recolectar la muestra y a la cantidad de contaminante emitido en ese tiempo. El término “prueba” se refiere al tiempo en el cual se realizan corridas separadas se realizan. (Generalmente son 3) así como al promedio aritmético del contaminante emitido en ese periodo de tiempo.

Procedimientos para determinar valores fuera de tendencia

Después de que una colección de datos se ha seleccionado para ser la base del desarrollo de factores de emisión y el análisis de valores DLD se ha realizado, es necesario hacer una serie de pruebas que identifiquen valores en la colección de datos que no se conforman o integran en la tendencia o patrón establecido por los otros considerados (llamados “outliners” en inglés). Varias de estas pruebas estadísticas están incorporadas al WebFIRE de la USEPA.

Los datos de emisiones por lo regular forman distribuciones logarítmicas normales, por lo tanto, es razonable suponer que las pruebas estadísticas para determinar valores fuera de patrón son las adecuadas para la mayoría de los casos y que las correspondientes colecciones de datos obtenidas forman distribuciones logarítmicas normales a las que se les pueden aplicar las siguientes pruebas.

La prueba Q de Dixon se utiliza para determinar valores fuera de patrón de 3 a 6 intervalos de promedio en distribuciones normales o logarítmicas normales. La prueba de Grubbs se utiliza para determinar valores fuera de patrón de 7 o más intervalos de promedio en distribuciones normales o logarítmicas normales.

La USEPA en su aplicación WebFIRE utiliza una alfa de “0.20” lo que quiere decir que está dispuesta a correr un riesgo del 20% de rechazar un valor válido. Para fines de generación de factores de emisión, la USEPA sugiere incluir todos los valores de corridas individuales (incluso aquellos considerados por otros como fuera de patrón si es que los valores aun son identificables) en el cálculo de los promedios de pruebas antes de aplicar la prueba de valores fuera de patrón.

De forma general, el WebFIRE de la USEPA aplica el siguiente algoritmo. Si se tienen 3 o menos valores, no se hace la prueba de valores fuera de patrón ya que el análisis estadístico no puede determinar valores fuera de patrón para una muestra tan pequeña. Si hay de 3 a 6 valores en la colección de datos candidata a evaluar un factor de emisión, se aplica la prueba de Q de Dixon para detectar los valores fuera de patrón. Si hay 7 o más datos para el análisis, se utiliza la prueba de Grubbs para identificar los valores fuera de patrón. Para aplicar las pruebas antes mencionadas, se requieren de colecciones de datos que tengan logaritmos naturales ya que éstos son los que se usan en los cálculos.

Prueba de Dixon

La ecuación básica de esta prueba estadística es la siguiente:

$$Q_{EXP} = \frac{X_2 - X_1}{X_N - X_1}$$

Donde la “ Q_{exp} ” es el valor calculado a partir de la colección de datos experimentales. “ N ” es el número de valores que integran la colección de datos, arreglados en orden ascendente. “ X_1 ” es el primer valor en la colección (ordenada), “ X_2 ” es el segundo valor en la colección, “ X_N ” es el último valor en la colección (los valores $X_{i...n}$ son en logaritmos naturales o base “e”).

El valor de cada Q_{exp} se compara con la Q_{crit} que se encuentra en tablas de referencia para un nivel de confianza del 80% (para este caso, pues $\alpha=0.20$) según el número de elementos o valores “ N ”. Si $Q_{exp} > Q_{crit}$ entonces el valor (que es el logaritmo natural del promedio de 3 corridas por lo general) es considerado como fuera del patrón que el resto establece.

Si se detecta un valor fuera de patrón, se remueve de la colección de datos y la prueba de Q de Dixon se repite hasta que ya no los haya o queden 3 datos. Cuando la colección de datos esté libre de estos valores, se puede proseguir con la generación del factor de emisión (el WebFIRE en este caso lo calcula, en muchos casos como un promedio de los dados que queden).

La prueba de Grubbs se define como:

$$G = \frac{\text{MAX}_1^N |Y_i - Y_{Avg}|}{s}$$

Donde “G” es el valor estadístico de la prueba, Y_{avg} es el promedio aritmético de la colección de datos, Y_i es el valor i de la prueba y “s” es la desviación estándar de la colección. Si la G obtenida con la colección de datos candidata a generar un factor de emisión es mayor que la calculada mediante la siguiente ecuación, entonces la hipótesis de existencia de valores fuera de patrón es aceptada (o la hipótesis de no existencia de valores fuera de patrón es rechazada):

$$G > \frac{(N - 1)}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{t_{\alpha/(2N), N-2}^2}{N - 2 + t_{\alpha/(2N), N-2}^2}}$$

Donde la $t_{(\alpha/(2N), N-2)}$ representa el valor superior crítico de una distribución “t” con N-2 grados de libertad y un nivel de significancia de $\alpha/2N$.

Si se detecta un valor fuera de patrón, se remueve de la colección de valores y según el número de valores que queden se decide que hacer. Menos de 6 valores se aplica la prueba de Q de Dixon, 7 o más se repite la prueba hasta que no se encuentren valores fuera de patrón.

Desarrollo de factores de emisión y procedimientos de caracterización de la calidad de los datos a emplear

Dentro de procedimientos del WebFIRE de la USEPA para generar factores de emisión, está el determinar qué valores de los recolectados son los más adecuados para incluirse en el cálculo del factor de emisión y se basa en dos premisas:

1. Se prefieren datos de alta calidad sobre los de baja,
2. Se prefieren más datos sobre los menos.

Los conceptos anteriores se aplican y combinan con dos procedimientos estadísticos simples que derivan en el enfoque usado por el WebFIRE de la USEPA para asignar una calificación de calidad al factor de emisión derivado. Estas calificaciones (o caracterizaciones) de la calidad indican que tan bien el factor de emisión generado representa el promedio de las emisiones de una actividad o proceso industrial particular. Los conceptos son los siguientes:

1. ITR (Individual Test Rating) Es un parámetro que indica la calidad de los reportes de las pruebas de emisiones de una fuente (que puede ser una empresa perteneciente a una actividad industrial contaminante o una chimenea de una sola empresa). El valor se asigna con base en el nivel de documentación disponible en el reporte de la prueba (de emisiones) entregada a la autoridad (en este caso la USEPA), el uso y apego a los métodos de referencia aplicables (de la USEPA) o en su defecto, al uso de otros métodos con presión y exactitud iguales o mejores a los anteriores (bien documentados), y a la operación (del proceso) y sistemas de control de emisiones en condiciones representativas. El valor del ITR va de 0 a 100 (peor a mejor).

La evaluación de ITR se hace en dos partes, en la primera se revisa solamente que tan completa es la información mediante una lista de revisión, se asignan puntos cada aspecto pedido en el reporte (descripción de la locación de la prueba, descripción detallada de las condiciones de muestreo etc.) y el total de puntos obtenidos se divide entre el total posible y el resultado se multiplica por 0.75.

Posteriormente, el estado revisa la información (la USEPA) y asigna puntos adicionales si la información es correcta, entendible y adecuada, o quita puntos si no lo es (contiene errores, está incompleta etc.). Al final se suman los puntos obtenidos (y sustraídos), se divide el resultado entre el total máximo posible y el resultado se multiplica por 0.25 y se suma a los primeros. Así la calificación máxima del ITR es de 100 puntos. En los documentos de la USEPA se pueden ver más detalles si es necesario, en este documento solo se explica el procesamiento con fines de tomar lo que sea aplicable en México para el desarrollo de factores de emisión.

2. CTR (Composite Test Rating) Es básicamente un promedio ponderado que sirve como indicador de calidad de los grupos de reportes de pruebas. En otras palabras, sirve para evaluar que tanto sirve un determinado grupo de datos para generar un factor de emisión que busca ser representativo de ellos (el grupo de datos puede ser la serie de valores como FE de distintas plantas (industrias) de una actividad industrial determinada (SCC).
3. FQI (Factor Quality Index) Es un indicador numérico que indica que tan bueno es un dato (en este caso puede ser un FE obtenido en alguna fuente) para representar a toda la población. Este factor se puede comparar al error estándar del promedio ($s/(N)^{1/2}$) que básicamente indica el nivel de confianza que se puede esperar al estimar un promedio (en este caso un dato, un FE de una fuente en particular) de una serie de muestras obtenidas de una población. Entre más pequeño sea el valor del error estándar, el promedio será más representativo de esa colección de muestras y por ende de la población (suponiendo que fueron adecuadamente tomadas, evaluadas etc.). Para el caso del FQI el valor mínimo asociado con las pruebas de emisiones (que lo generan) indica que dichas fuentes son las más adecuadas para derivar un factor de más calidad, con mayor precisión y exactitud para representar a las fuentes que operan en condiciones representativas. La forma de disminuir el FQI es mediante el aumento de la calidad de las pruebas aportadas y mediante el aumento del número de éstas.
4. Nivel de calidad de factores de emisión. Es un criterio de la USEPA que se asigna a partir de los cálculos anteriores para discriminar los resultados. Se tienen 3 áreas que son:
 - Altamente representativo, se asigna a los factores con el valor del FQI más bajo,
 - Moderadamente representativo, se asigna a los factores con valores de FQI intermedios,

- Pobremente representativo se asigna a factores con los valores más altos del FQI.
5. Criterio de límites. Se refiere a las condiciones específicas para determinar hasta qué punto se le asigna un criterio de calidad a un factor de emisión. Según la experiencia de la USEPA al generar factores de emisión, las siguientes ecuaciones determinan los límites de las zonas de calidad de los factores de emisión.

Recuadro 82. Resumen de las ecuaciones que determinan las fronteras entre los diferentes niveles de calidad de los FE analizados con poblaciones de más de 15 fuentes y con 15 o menos. Tomada de la USEPA.

Número de fuentes	Ecuaciones de frontera entre diferentes niveles de calidad	
	Frontera entre pobre y moderadamente representativo	Frontera entre moderada y altamente representativo
Más de 15	$FQI=0.5774$ $N=30,000CTR^{-2}$	$FQI=0.3015$ $N=11,000CTR^{-2}$
15 o menos	$FQI=1.0$ $N=30,000CTR^{-2}$	$FQI=0.5774$ $N=30,000CTR^{-2}$

El criterio es permitir el desarrollo de factores de emisión altamente representativos mediante pruebas muy bien documentadas, soportadas y verdaderamente representativas sin tener que cargar con un número excesivo de ellas.

Procedimiento

Los siguientes pasos resumen el cálculo específico y el proceso de caracterización de la información, llevados a cabo por la USEPA a través de WebFIRE para calcular o revisar un factor de emisión.

- Se agrupan las colecciones de datos candidatas a integrar un factor de emisión por contaminante, actividad industrial (SCC) y tipo de dispositivo de control de emisiones. Los siguientes pasos se realizan por estos grupos (contaminante/SCC/Sistema de control).
- La colección de datos se somete al análisis de DLD y posteriormente al de valores fuera de patrón (outliners).
- La colección de datos se ordena en orden descendente por ITR como criterio primario y por valor como criterio secundario.
- Se calcula el CTR de cada combinación de datos potencialmente a incluir en el cálculo del factor de emisión. Por ejemplo, si la lista tiene 20 elementos (pruebas, valores medios provenientes de distintas empresas de la misma actividad industrial etc.) se calculan 19 CTR, empezando con los dos primeros datos, luego con los siguientes 3, luego con los siguientes 4, hasta incluir los

20. (el CTR del primero se puede hacer aunque no tiene mucho sentido para este análisis). La forma de calcular cada CTR es la siguiente:

$$CTR_n = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{ITR_i} \right)^2}{N} \right]^{-0.5}$$

Donde CRT es el “Composite Test Rating” que asigna un valor de calidad al conjunto de datos analizados para ser usados en la generación de un factor de emisión. ITR es el “Individual Test Rating” que dice que tan bien documentado y soportado esta cada valor utilizado (que tan bueno es cada dato aportado por cada empresa del mismo SCC para el mismo contaminante) y “N” es el número de datos (“FE” individuales de cada empresa del mismo SCC por ejemplo) con un ITR igual o mayor al evaluado (se ve claramente en la lista de elementos ordenados, el elemento de ITR mayor tiene una N de 1, el segundo de 2 etc.).

- Ahora se calcula el FQI con cada CTR calculado previamente, esto indica que tan bueno es esa colección de datos para generar un FE mejor. La ecuación es la siguiente:

$$FQI = \frac{100}{(CTR)N^{1/2}}$$

Donde el CTR es el “Composite Test Rating” asociado a la lista conformada desde el elemento 1 (el de mayor ITR) hasta el correspondiente a ese CTR analizado. La “N” es el número de datos (“FE” individuales de cada empresa del mismo SCC por ejemplo) con un ITR igual o mayor al evaluado.

- El factor de emisión se calcula tomando en cuenta todos los datos que sirvieron para calcular el FQI más bajo. Esto incluye a todos aquellos datos con el ITR mayor al punto donde se obtuvo el FQI más bajo, que se localiza (de existir) antes de aquel (punto o dato) en donde FQI se incrementa de nuevo. Los valores que están ubicados posteriormente a esta inflexión no se toman en cuenta en el cálculo del factor de emisión. La USEPA tiene distinción entre colecciones de datos de 16 o más y 15 o menos ya que en la clasificación de actividades industriales (emisoras de contaminantes) existen algunas que tienen 15 o menos empresas que generan contaminantes.

Nota: Estos procedimientos estadísticos se pueden aplicar a distintos niveles, la USEPA los usa para obtener factores de emisión a partir de valores promedio (FE “locales” o particulares de una planta o empresa) de actividades industriales del mismo SCC, contaminante y sistema de control.

Procedimiento estadístico para determinar combinaciones de datos validas

Al hacer factores de emisión con frecuencia, se hace necesario revisar periódicamente los ya existentes para corregirlos o mejorarlos (si es necesario). Para ello es necesario determinar si una nueva colección de datos puede ser combinada con otra ya existente. Los procedimientos estadísticos aplicables se deben usar con cautela y estudiando caso por caso, principalmente para determinar con claridad si la nueva colección de datos corresponde al mismo tipo de emisiones, con las mismas unidades, controles, proceso productivo y condiciones de operación que la colección previa. Los procedimientos estadísticos por si solos no pueden hacer esta diferenciación que es crucial para obtener factores de emisión de calidad.

Cuando se determina que una colección de datos puede integrarse a otra, entonces ambas se integran para formar una colección mayor conocida como "pool". Los valores contenidos en un pool son preferidos sobre los individuales (de una sola colección de datos) ya que son más adecuados para estimar la varianza de la población original. En algunos casos un valor simple (como el promedio de una prueba de emisiones) se compara con otros valores. Bajo estas circunstancias, el valor simple debe ajustarse a múltiples valores para tener suficientes datos para calcular la varianza.

La forma más simple de determinar si una colección nueva puede combinarse con una previa es mediante una prueba de "t de student". Siempre y cuando se haya determinado que las listas tienen las características adecuadas para ser combinadas. El procedimiento seguido por la USEPA es el siguiente.

- Conseguir toda la información de las pruebas de emisión, de ser posible, obtener los valores de las pruebas de las corridas individuales, no solo de la prueba (que usualmente es el promedio de 3 corridas diferentes) y usar los valores de las corridas para hacer la prueba. Si solo se tiene el valor de la prueba, este valor se usa 3 veces para representar el valor de cada corrida.
- Se hace la hipótesis nula (los promedios de las dos colecciones de datos son iguales) y la alterna (los promedios de las dos colecciones no son iguales).
- Se hace la prueba de la t de Student a las dos colecciones asumiendo varianzas diferentes. Para ello se busca la "t_{crítica}" con un valor de 0.2 de significancia (20% de riesgo de no incluir un dato válido) y según el número de grados de libertad (número de valores o elementos de cada colección menos 1). Si el resultado de la prueba es mayor al valor crítico, se asume que las dos colecciones no tienen promedios iguales y por lo tanto no deben ser combinadas. En caso contrario ($t_{prueba} \leq t_{crítica}$) entonces si se pueden combinar.
- Al formar la nueva colección de datos combinados (llamada ahora "pool") se pueden hacer los análisis de valores DLD y de valores fuera de patrón para prepararla para procesos posteriores.

ANEXO III

RESUMEN DE LA GENERACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL SECTOR METALÚRGICO

De la recopilación de información de procesos y operaciones conexas utilizadas en el sector metalúrgico, se obtiene el siguiente recuadro que resume la generación de contaminantes y su correspondiente emisión a diferentes medios.

Recuadro 83. Resumen de la generación de contaminantes, el medio al que se emiten y presencia de sustancias RETC, en la industria metalúrgica

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
MINERÍA (EN GENERAL)				
Extracción	<p>Venteos de mina: SO₂, NO₂ y CO₂ De motores y transportes: Gases de combustión⁹</p> <p>Minería de metales¹⁸: Acroleína, acrilonitrilo, anilina, As, Cr, Cd, Pb, benceno, bifenilo, 1,3 butadieno, Hg, Ni, clorobenceno, 1,2 dicloroetano, 1,4 diclorobenceno, 1,2 dicloroetano, diclorometano, epiclorhidrina, 2-etoxietanol, H₂S formaldehído, fenol, estireno, 1,1,1 tricloroetano 1,2,2 tricloroetano Cloruro de vinilo CFCs-13, 115, 12, 114. HCFC-22</p>	<p>Residuos en el área: los mismos que se muestran a la derecha</p> <p>Es posible que se encuentren residuos de las sustancias emitidas al aire en las corrientes líquidas de desecho (no todas las sustancias necesariamente estarán presentes en una mina en particular, incluso no necesariamente todas las manejadas en un sitio o emitidas al aire estarán en las aguas de desecho)</p>	<p>Residuos en el área: de explosiones (sales de amonio y NH₃), de combustibles (diesel), lubricantes, fluidos hidráulicos, líquidos y baterías</p> <p>Ganga</p> <p>Es posible que se encuentren residuos de las sustancias emitidas al aire en las colas de minería (no todas las sustancias necesariamente estarán presentes en una mina en particular, incluso no necesariamente todas las manejadas en un sitio o emitidas al aire estarán en las aguas de desecho)</p>	<p>CO₂ Minería de metales¹⁸: Acroleína, Hg acrilonitrilo, anilina, As, Cr, Cd, Pb, Ni, H₂S benceno, bifenilo, 1,3 butadieno, cloro benceno, 1,2 dicloroetano, 1,4 diclorobenceno, 1,2 dicloroetano, diclorometano, epiclorhidrina, 2-etoxietanol, formaldehído, fenol, estireno, 1,1,1 tricloroetano 1,2,2 tricloroetano Cloruro de vinilo CFCs-13, 115, 12, 114. HCFC-22</p>
Trituración en sitio y en planta de beneficio	<p>Partículas y polvos compuestas de minerales y compuestos de metales, asbestos</p>	<p>Agua de control de emisiones: Residuos de minerales, partículas atrapadas</p>	<p>Residuos sólidos de la trituración y molienda. (minerales desechados)</p>	asbestos
Manejo de colas	Gases generados	Los mismos	Colas de minería: As,	Pb, Ni, As, Cd,

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	<p>por reacciones químicas y/o acondicionado: CO₂</p> <p>Polvos arrastrados por viento en áreas de depósito</p>	contaminantes presentes en los residuos sólidos y peligrosos están presentes en el agua	Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, F, Al, Mn, As, V, Mo, K, Ni, Ca, Mg, Si, S, Sb, Se, Cd, Cr, Co, Hg en nitratos, nitritos, sulfatos, sulfitos, sulfuros, bicarbonatos, cianuros, fibras asbestos, elementos radioactivos DQO (ver sustancias usadas en minería de metales arriba, en extracción y nota 18)	Cr, Hg, cianuros, CO ₂ , asbestos
MINERÍA DE PLOMO Y ZINC				
Colas de flotación	<p>Gases generados por reacciones químicas y/o acondicionado: CO₂</p> <p>Polvos arrastrados por viento en áreas de depósito</p>	Los mismos contaminantes presentes en los residuos sólidos y peligrosos están presentes en el agua	Colas de minería (como los xales): Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Zn, Ca, grasas, partículas suspendidas, sulfatos, cianuros, fosfatos, DQO	Pb, Ni, As, Cd, Cr, Hg, cianuros, CO ₂
MINERÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO				
Colas de flotación	<p>Gases generados por reacciones químicas y/o acondicionado: CO₂</p> <p>Polvos arrastrados por viento en áreas de depósito</p>	Los mismos contaminantes presentes en los residuos sólidos y peligrosos están presentes en el agua	Colas de minería: As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, S, Sc, Sn, Sr, V, Y, Zn, Zr, silicatos, óxidos, fosfatos, álcalis	Pb, Ni, As, Cd, Cr, Hg, CO ₂
MINERÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO				
Manejo de colas	<p>Gases generados por reacciones químicas y/o acondicionado: CO₂</p> <p>Polvos arrastrados por viento en áreas de depósito</p>	Los mismos contaminantes presentes en los residuos sólidos y peligrosos están presentes en el agua	Colas de minería: As, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, F, Al, Mn, As, V, Mo, K, Ni, Ca, Mg, Si, S, Sb, Se, Cd, Cr, Co, Hg en nitratos, nitritos, sulfatos, sulfitos, sulfuros, bicarbonatos, elementos radioactivos, DQO	Pb, Ni, As, Cd, Cr, Hg, CO ₂
SIDERÚRGICAS				
Manejo de materiales (general)	<p>Vehículos: Gases de combustión.</p> <p>Zonas de carga/descarga: polvos (dolomita,</p>	Lixiviados de materias primas (si no se toman las precauciones necesarias)	Residuos de materias primas	

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	pedra caliza, fluorita, mena de hierro, carbón, sinterizado, etc.)			
Planta de Sinterizado	Venteos de gases con polvos (también generadas en molienda y transporte interno de materiales), Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn, HCl, HF, NOx, SO ₂ , CO, CO ₂ , COVs, CAPC, BPC, dioxinas y furanos	Agua usada para control de emisiones con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Polvos colectados y lodos con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Pb, Ni, As, Cd, Cr, Hg, CO ₂ , BPC, dioxinas y furanos
Planta peletizadora	Venteos de gases con polvos (emisiones conducidas de molienda, secado, rolado y manejo juntas), Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn, HCl, HF, NOx, SO ₂ , CO, CO ₂ , COVs, CAPC, dioxinas y furanos	Agua usada para control de emisiones con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Polvos colectados y lodos con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera.	Pb, Ni, As, Cd, Cr, Hg, CO ₂ , dioxinas y furanos
Planta de coquizado	Manejo de carbón, de coque: polvos y partículas. Venteo del horno de coquizado: SOx, NOx, NH ₃ , H ₂ SO ₄ , HCN, fenol, H ₂ S, CO, CO ₂ , CH ₄ , COVs, benceno y otros aromáticos, CAPC, dioxinas y furanos Apagado: Vapor de agua (discontinuo) Emisiones fugitivas del sistema de recuperación de HC con COVs	Condensados del horno con NH ₃ , fenol, cianuros, alquitranes, benceno, tolueno, xilenos Efluente del tratamiento de desulfuración con As, ácidos orgánicos, tiocianuros, NH ₃ , SO ₄ , S ₂ O ₃ (según el proceso usado) Efluente de lavadores húmedos con dioxinas y furanos y otros contaminantes	Benceno, H ₂ SO ₄ , alquitrán de coque, azufre elemental, agua Derrames y/o fugas del sistema de recuperación de HC con COVs (benceno, tolueno, xileno, etc.)	Fenol, H ₂ S, benceno, dioxinas y furanos, CO ₂ , CH ₄ , As, cianuros

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	(benceno, tolueno, xileno, etc.)			
Alto Horno (AH)	Gas de AH con CO, H ₂ , N ₂ , CO ₂ , cianuros, polvos. (usualmente se usa como fuente de energía, se toman medidas para evitar o reducir los cianuros) Gas de combustión de AH, no incluye el uso de gas de AH: Polvos y partículas, Mn, Ni, Pb, SO _x , NO _x , H ₂ S, CO, CO ₂ , dioxinas y furanos	Agua de purificación de gas de AH con materia orgánica, metales pesados, dioxinas y furanos Agua de granulación de escoria de AH con Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, COT, DQO	Escorias, polvos recolectados de AH y de manejo de escorias de AH con óxidos de metales como P, S, Mn, Si, Ti, Al, Ca, Mg, B, Po, Te, Sb, As, Ge y B Lodos del proceso del gas de AH, cascajo	As, Pb, H ₂ S, CO ₂ , dioxinas y furanos, cianuros
Pretratamiento (desulfuración)	Si se usa ceniza de Na, vapores de escoria con H ₂ S, polvos (descomposición del sulfito con H ₂ O)		Desulfuración con ceniza de Na, escoria de desulfuración con Na ₂ SO ₃ , muy alcalina Desulfuración con carburo de calcio, escoria (mayor cantidad)	H ₂ S
Elaboración de oxígeno vía Horno Básico de Oxígeno (BOF). (Incluye pretratamiento, BOF, metalurgia secundaria, colada)	Gas de BOF: CO, partículas, gases ácidos Gas de combustión de BOF: no incluye el uso de gas de BOF: polvos, Cr, Cu, Pb, Mn, NO _x , CO, CO ₂ , CAPC, dioxinas y furanos	Agua de lavado de gases con partículas. Agua de enfriamiento indirecto de equipos con residuos de grasas y aceites de máquinas	Escoria de BOF, material perdido en operación, polvos gruesos y lodos de tratamiento de gas de BOF, polvos finos y lodos de tratamiento de gas de BOF, polvos capturados (dioxinas y furanos), cascajo de refractario de BOF dañado En las escorias puede haber óxidos y sales de elementos diversos como Si, Al Ca, Mn, P, S entre otros. En los polvos capturados y escorias puede haber restos de contaminantes emitidos	CO ₂ , Pb, dioxinas y furanos

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
			a la atmosfera, particularmente de dioxinas, furanos	
Metalurgia secundaria (desgasado)	Venteo con H ₂ , O ₂ , N ₂ , CO ₂ , Ar, polvos	Agua de desecho de generación de vacío	Escoria de metalurgia secundaria.	CO ₂
Colada		Agua de desecho de la colada continua con óxidos de metales, aceites	escoria de colada continua, residuos de colada continua	
Pretratamiento de chatarra	Venteo de gases con CO ₂ , CO, CH ₂ O dioxinas, furanos, clorobencenos, BPC, CAPC (Si la chatarra está sucia con pinturas, plásticos, lubricantes, grasas etc.)	Escorrentías del patio de chatarra con grasas, aceites, polvos, restos de materiales presentes en ellas.		CO ₂ , CH ₂ O, dioxinas, furanos, BPC, 1,2 dicloro benceno, 1,4 dicloro benceno, clorobenceno
Elaboración de oxígeno vía Horno de Arco Eléctrico (EAF)	Venteo de EAF con polvos, Hg, Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, HF, HCl, SO ₂ , NOx, CO, COT, benceno, cloro bencenos (MCB, 1,2 y 1,4 DCB), CAPC, BPC, dioxinas y furanos	Aguas de lavado de gases, probablemente con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Escorias de EAF, polvos recolectados, cascajo de ladrillos refractarios dañados. En estos residuos sólidos puede haber restos de contaminantes emitidos a la atmosfera, particularmente dioxinas y furanos	Pb, Cd, Cr, Hg, CO ₂ , dioxinas y furanos, 1,2 dicloro benceno, 1,4 dicloro benceno, clorobenceno, BPC, benceno
Reducción directa del hierro	Partículas, CO ₂			CO ₂
Reducción del hierro durante la fusión (SR)	Gas de SR para reducción de Fe en la mena: CO, H ₂ , CO ₂ Venteo de fundición Partículas, SO ₂ , NOx,		Escoria	CO ₂
LAMINACIÓN EN CALIENTE				
Rectificación y acondicionamiento del material de entrada	Vapores corrosivos de desbarbado con partículas, CO, NOx Polvos de desbaste	Aguas de lavado de piezas con residuos sólidos como los descritos en el cuadro de la derecha Aguas de lavado de gases con partículas	Polvos de desbarbado con óxidos de hierro y otros metales según la aleación Polvos de desbaste	
Recalentamiento	Venteo de horno			CO ₂

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
o y tratamientos térmicos	con NO _x , SO _x , CO, CO ₂ ,			
Descascarillado	FeO, Fe ₃ O ₄ , HC	Agua residual de descascarillado con aceites	Lodos aceitosos de descascarillado	
Laminado en caliente	Polvos y partículas, emisiones fugitivas de vapores del aceite de lubricación	Aguas residuales con sólidos, aceites, hidráulicos y lubricantes, otros HC (DQO), Cu, Zn, Cd, Al, Pb, Cr, Cr ⁺⁶ , Mn, Fe, Ni, Hg y cloro libre	Polvos capturados (óxidos de Fe y otros metales), recortes, piezas rechazadas, escombros, cascarilla de laminación, lodos de taller de rodillos. Aceites y grasas de lubricación de equipos y maquinas (en operación)	Cd, Pb, Cr, Ni, Hg
LAMINACIÓN EN FRIO				
Tren de decapado con HCl	Venteo de la regeneración de HCl con polvos, SO ₂ , NO _x , CO, CO ₂ , HCl, Cl ₂ Venteo de tanques de decapado con HCl	Agua de decapado (ácida)	Lodos de decapado	CO ₂
Tren de decapado con H ₂ SO ₄	Gas residual, gases de decapado con H ₂ SO ₄ , gas residual de la regeneración de H ₂ SO ₄ con SO ₂ y H ₂ SO ₄	Aguas residuales ácidas y con aceite	FeSO ₄ .7H ₂ O, H ₂ SO ₄ , lodos aglutinados, residuos contaminados con aceites, recortes de metal	
Tren de decapado con HNO ₃ y HF	Gas residual con HF, NO _x , SO ₂	Agua residual ácida		
Laminación en frío	Aire residual con polvos, HC, aceites formado nieblas	Agua de refrigeración, residuales del proceso,	Residuos contaminados de aceites	
Trenes reversibles de laminación en frío	Aire residual con HC, aceites formando nieblas	Agua residual	Lodos, filtros de aceite	
Recocido por lotes	Gas residual con SO ₂ , NO _x , H ₂ , N ₂ , CO ₂ , CH ₄	Agua de refrigeración Agua de desecho aceitosa		CO ₂ , CH ₄
Recocido continuo	Gas de horno con SO ₂ , NO _x , H ₂ , N ₂ ,		Lodos aglutinados	CO ₂ , CH ₄

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	CO ₂ , CH ₄			
Templado por laminación	Aire residual, emisiones fugitivas de aceite	Aguas residuales	Residuos de aceites, lodos aglutinados	
Acabado			Residuos con aceite, chatarra	
Taller de rodillos	Gas residual con polvos, Cr	Emulsión residual (aceites)	Lodos de desbaste, material de desbaste, residuos aceitosos, polvo de granallado	Cr
FUNDICIÓN DE HIERRO Y ACERO				
Mezclado y molido de materiales para moldes	Durante la operación: partículas			
Preparación de arenas	Durante la operación: partículas, HCN, H ₂ S, NH ₃ , benceno, CAPC			H ₂ S, HCN, benceno
Preparación de corazones y moldes	Durante la operación: benceno, CAPC, NH ₃ , HCN			benceno
Secado	Gases de combustión			
Curado de corazones y moldes	Durante el curado: benceno, CAPC, NH ₃ , HCN			Benceno, HCN
Preparación de la carga (pre tratamiento piro metalúrgico de chatarra sucia)	Polvos, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn etc. NO _x , SO ₂ , CO, dioxinas y furanos		Cenizas con residuos orgánicos y metales pesados	Ni, Cd, Pb, As, Cr, dioxinas y furanos
Fundición (varios tipos de hornos usados)	Cubilote: CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , partículas de CaO, FeO, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg, SiO ₂ , MnO, dioxinas, furanos, COVs, CAPC Arco eléctrico: CO ₂ , CO, NO _x , partículas, Ni, Cd, Pb, As, Cr, COVs, dioxinas y furanos Inducción: óxidos de metales, COVs, CAPC, Ni, Cd, Pb, As, Cr,	Aguas de lavadores de gases con metales pesados, partículas.		Ni, Cd, Pb, As, Cr, Hg, dioxinas, furanos, CO ₂ ,

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	dioxinas y furanos Reverbero: CO, CO ₂ , NO _x , dioxinas, furanos, HCl, HF, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg, COVs			
Vaciado y enfriado	Polvos, gases con CO, HCN, NH ₃ , benceno, CAPC. Vapores de negros de fundición con Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn		Negros de fundición con metales como Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn	Ni, Cd, Pb, As, Cr, benceno
Desmolde, pulido y eliminación de sobrantes	Del molde COVs, CO, HCN, NH ₃ , Vapores de Fe y otros metales como Cr, Zn, Mo, Ti Pulido: partículas Eliminación de sobrantes: partículas, gases de soldadura (ver más adelante)		Eliminación de sobrantes: rebabas, virutas, residuos de corte	HCN, Cr
OTRAS OPERACIONES REALIZADAS EN SIDERÚRGICAS, FUNDICIONES Y TRABAJO CON METALES				
Cortes de metales	CO, CO ₂ , NO _x y partículas suspendidas de carbono y sílice, otros polvos, humos de metales como Fe, As, Pb, Cd, Zn, Al, Cr, Mn, Mb, Hg, Ni, Ti, entre otros, ozono, virutas, (pueden variar según el combustible usado)	Agua de corte, lavado y/o refrigeración con residuos de metales como los emitidos a la atmosfera , sobrantes, rebabas, grasas	sobrantes y rebabas	As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, CO ₂
Soldadura	CO ₂ , CO, NO _x , O ₃ , humos metálicos con Cd, Cr, Mn, Zn, Hg, Ni, Ti, V, Pb, Mb,	Agua de, lavado y/o refrigeración con residuos de metales como los emitidos a la atmosfera ,		As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, CO ₂

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	Al, Fe, Sn, Be e In partículas de carbono, SiO ₂ y en ocasiones de asbestos, F-, Ar, He, acroleína	sobrantes, rebabas, grasas		
Tratamientos térmicos (de mejora)	Desengrasado con solventes: COVs de glicoles, keroseno, benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas Venteo de hornos de tratamiento con partículas, CO, CO ₂ , NOx, SOx, benceno, CAPC, amoniaco, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg, HCN, dioxinas y furanos		Solventes usados como los mencionados con grasas y virutas	benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol CO ₂ , benceno, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Hg, HCN, dioxinas y furanos
Tratamientos termoquímicos (de mejora)	De la limpieza mecánica se emiten partículas Desengrasado con solventes: COVs de glicoles, keroseno, benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y cetonas. Gases residuales en general: con partículas, CO, CO ₂ , NOx, SOx, benceno, CAPC, amoniaco, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Fe, Zn, Hg, HCN, dioxinas, furanos. Además en la	Aguas de apagado con sales y metales pesados similares a los emitidos a la atmósfera		benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, cloruro de metileno y fenol CO ₂ , benceno, Ni, Cd, Pb, As, Cr, Hg, HCN, dioxinas y furanos

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	cementación hay H ₂ , HC, CN. En la nitruración NH ₃ , H ₂ , CO			
ALUMINIO PRIMARIO				
Secado y molienda de bauxita	Partículas de bauxita	Agua de los lavadores y/o ciclones húmedos de gases que pueden tener contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Polvos colectados	
Cámara de sedimentación del efluente de digestores		Agua recuperada del lodo rojo	Lodo rojo (NaAl ₂ OH y otros óxidos metálicos).	
Calcinación y calentamiento para producir Al ₂ O ₃	Partículas, fluoruros	Agua de los lavadores y/o ciclones húmedos de gases que pueden tener contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Polvos colectados	
Cocción de ánodos	Partículas, compuestos de flúor, alquitranes, CAPC	Agua de enfriamiento Agua de los lavadores y/o ciclones húmedos de gases que pueden tener contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Restos de ánodos (pre cocidos). Polvos colectados	
Celdas electrolíticas	HF, CF ₄ , C ₂ F ₆ , CAPC, NO _x , CO, alquitranes, SO ₂ , COS, partículas de alúmina y criolita, CO ₂ , compuestos de metales, dioxinas y furanos (con electrodos de grafito)	Agua de enfriamiento y refrigeración. Agua de los lavadores y/o ciclones húmedos de gases que pueden tener sulfatos, fluoruros, CAPC y otros contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	Residuos de revestimiento de crisoles compuesto de carbono, material refractario, residuos del baño, restos de fluoruros y cianuros. La parte residual de carbono puede producir lixiviados alcalinos y emitir NH ₃ y PH ₃ si se humedece	CO ₂ , dioxinas, furanos, fluorocarbonos (CF ₄ , C ₂ F ₆), cianuros
Refinado y desgasado	Ar, N ₂ , H ₂ , Cl ₂ (si se usa en exceso)		Escoria abundante en Al, con residuos de otros metales	
Colada	Venteo de gases		Escorias superficiales, virutas	

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
ALUMINIO SECUNDARIO				
Pre tratamiento de chatarra	Venteo de gases con CO ₂ , CO, CH ₂ O dioxinas, furanos, clorobenzenos, BPC, CAPC (Si la chatarra está sucia con pinturas, plásticos, lubricantes, grasas etc.)	Escorrentías del patio de chatarra con grasas, aceites, polvos, restos de materiales presentes en ellas.		CO ₂ , CH ₂ O, dioxinas, furanos, BPC, 1,2 dicloro benceno, 1,4 dicloro benceno, clorobenceno
Secado de virutas, fusión en horno rotatorio, de reverbero, en solera en pendiente (varían las cantidades)	Partículas, SO ₂ , NO _x , HF, HCl, cloruros, dioxinas y furanos, COVs (puede variar según el combustible usado)	Agua de enfriamiento Agua de lluvia con contaminantes arrastrados como aceites, partículas etc.	Revestimientos dañados de hornos, escorias salinas y superficiales que pueden contener oxidos de metales (Al, Ca y Mg), sulfatos, cloruros y nitratos, dioxinas y furanos y al procesarse pueden generar emisiones a la atmosfera de PH ₃ , CH ₄ , H ₂ , con humedad generan vapores de NH ₃ Filtros usados. Polvos recuperados, con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera	
Fusión en horno de inducción	Partículas, HF, HCl, cloruros, dioxinas y furanos, (puede variar según el combustible usado)	Agua de lavado de gases con contaminantes similares a los emitidos a la atmósfera		Dioxinas y furanos, CH ₄ ,
FABRICACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA DIVERSOS USOS INDUSTRIALES Y PARA USO AGRÍCOLA Y DE GANADERÍA				
Pulido	Polvos y partículas suspendidas			
Segundas operaciones y maquinado	polvos	Residuos líquidos de aceites y grasas y agua con virutas de metal	Rebabas, virutas Aceites lubricantes gastados (al menos de algunas máquinas)	
Pintado	Polvos, aerosoles, vapores de solventes (benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno y fenol entre otros a base de benceno, fenoles y		Residuos de pinturas que incluyen solventes y pigmentos	benceno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno y fenol compuestos de Cd, Cr, Pb

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	cetonas.) Pigmentos a base de compuestos de metales de Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Se, Mo, Ti, Ba, Al, Fe			
SERVICIOS AUXILIARES				
Tanques de almacenamiento de insumos	En casos de ciertos insumos hay COVs, COTs, noCOVs, CIVs, otros gases	Fugas, derrames	Fugas, derrames	
Vehículos de carga y transporte usados	Gases de combustión. Dioxinas y furanos	Fugas, líquidos de frenos		CO ₂ ⁹ , dioxinas y furanos
Almacén temporal de residuos peligrosos	No debe de haber emisiones a la atmósfera (o al menos deben de poderlas controlar)	No debe de haber emisiones al agua	Residuos peligrosos según el tipo de instalación (p.e. balastras, transformadores con BPC, SF ₆ , material impregnado con solventes, lubricantes contenedores de insumos etc.)	Varía
Planta desmineralizada de agua			Lodos de desmineralizado (sales, metales pesados, otras impurezas)	
PTAR	CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	Descargas de agua tratada (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, DQO, CN partículas)	Lodos de tratamiento (con contaminantes similares a los encontrados en el agua)	CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ As, Cd, Ni, Hg, Pb, Cr, CN ⁻
Calderas y equipos de ⁹ combustión	Gases de combustión según el combustible usado ⁹ , dioxinas y furanos	Purgas de agua para vapor (DQO, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, restos de insumos para evitar incrustación como hidracina ¹³ , anilina ¹³ , H ₂ SO ₄ , morfina, benzotiazoles, etanolaminas, fosfatos, molibdatos etc.	Cenizas y otros residuos de combustión (según el combustible usado)	CO ₂ , CH ₄ , CH ₂ O, benceno, As, Cd, Ni, Hg, Pb, Cr ⁹ , hidracina, anilina ¹³ , dioxinas y furanos
Planta auxiliar de energía eléctrica ⁹	Gases de combustión según el combustible usado. SF ₆ , , dioxinas y furanos	Purgas de agua para vapor (DQO, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, restos de insumos para evitar incrustación como hidracina ¹³ , anilina ¹³ , H ₂ SO ₄ ,	Equipo eléctrico de desecho (BPC ¹⁰) Cenizas y otros residuos de combustión (según el combustible usado)	SF ₆ ¹⁰ , BPC ¹⁰ CO ₂ , CH ₄ , CH ₂ O, benceno, As, Cd, Ni, Hg, Pb, Cr ⁹ , hidracina,

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
		morfolina, benzotiazoles, etanolaminas, fosfatos, molibdatos etc.		anilina ¹³ , dioxinas y furanos
Mantenimiento ¹¹	Gases de combustión ⁹ , de soldadura (CO ₂ , CO, NOx, O ₃ , humos metálicos que pueden incluir metales como Cd, Cr, Mn, Zn, Hg, Ni, Ti, V, Pb, Mb, Al, Fe, Sn, Be e In, partículas de C. SiO ₂ , asbestos. F ⁻ , Ar, He acroleína)	Aguas de desecho (DQO, As, Cd, Ni, Hg, Pb, Cr, partículas. Otros contaminantes según el caso)	Residuos de materias primas, insumos, productos, subproductos, (varía mucho según el caso) grasas, aceites, dioxinas y furanos) Material contaminado con diversas sustancias. Escorias de fundición con metales pesados Equipos contaminados de diversa índole (BPC, lubricantes, etc.)	CO ₂ , Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, dioxinas y furanos, BPC (entre otros según aplique)
Servicios generales		Aguas municipales (DQO)	Residuos sólidos municipales	
Sistemas de gases	CO ₂ , N ₂ , Ar, H ₂ , O ₂	Ver motores de compresores y bombas	Ver motores de compresores y bombas	CO ₂
Sistemas de refrigeración	Emisiones fugitivas de refrigerantes (hidrocarburos varios, NH ₃ , CFC, HCFC, HFO, N ₂ O ¹⁹)	Ver motores de compresores	Ver motores de compresores	CFC-11, 12, 13, 113, 114, 115 HCFC-22, 123, 124, 141b, 142b, 225ca, 225cb, N ₂ O ¹⁹
Sistema contra incendios	Gases de combustión de motores de bombas	Fugas, derrames de agua contra incendio con aceites, grasas	Lubricantes de motores, líquidos de baterías	
Torres de enfriamiento (de agua)	COVs (en algunos casos)	Fugas y purgas de agua de enfriamiento con contaminantes e insumos usados	Lodos filtrados (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, hidracina ¹³ , anilina ¹³ , DQO)	Anilina ¹³ , hidracina ¹³
Motores de compresores y bombas	Gases de combustión según el combustible utilizado ⁹	Fugas de aceites, lubricantes, refrigerantes	Aceites lubricantes e hidráulicos gastados (RP)	CO ₂ ⁹

Notas generales.

1. El impacto ambiental de los que los contaminantes mostrados aquí, se obtuvo a partir de las referencias utilizadas como fuente de información. En la descripción del proceso se dan mayores detalles sobre el proceso y el impacto que genera. Si el lector desea más información, puede consultar las referencias.
2. La información aquí mostrada es representativa del sector y no exhaustiva, ya no se pudo obtener la información de (absolutamente) todos los procesos, variaciones, sistemas de control de emisiones, productos, tecnologías, técnicas ni contaminantes generados por todo el universo de industrias del sector metalúrgico, así como tampoco lo hacen las referencias que sirvieron de fuente a este documento (y ellas así lo aclaran también). Tampoco sustituye a la información que cada empresa, planta o unidad productiva tenga sobre sí mismo, solo pretende ayudar a disminuir los errores de llenado de la COA y

- aumentar la calidad de la información vertida en ella.
3. Los contaminantes presentados en esta tabla se pueden emitir en cantidades variables según las características particulares del proceso y sistemas de control de emisiones instalados, en el resumen de los procesos del sector metalúrgico tratados en este documento se dan más detalles.
 4. Los contaminantes mostrados aquí son generados por el proceso y operaciones conexas en operación normal, los contaminantes generados por equipos de combustión en donde los gases de combustión no tocan al proceso y solo dependen del tipo de combustible usado (principalmente al menos) se muestran en el recuadro siguiente.
 5. Para aquellos establecimientos que por alguna razón o mejora hayan eliminado la emisión de un contaminante importante (como uno en la lista RETC), se sugiere que incluyan la información de la mejora y hagan algún comentario al respecto en el programa de reporte de la COA.
 6. Por lo general, los lodos de tratamiento de aguas de un proceso, contienen los contaminantes encontrados en las descargas de agua de éste. Si se mencionan como residuos peligrosos es para resaltar alguna característica importante.
 7. En instalaciones que manejan sustancias como hidrocarburos, solventes o alguna otra sustancia volátil, es muy probable que haya emisiones fugitivas de algún tipo y en algún grado, dependiendo de las características de dichos fluidos, condiciones de operación y particularidades de la planta o unidad de proceso. (por ejemplo en plantas de coque siderúrgico).
 8. Para equipos de combustión en donde los gases generados no entren en contacto directo con las corrientes y materiales del proceso, el siguiente recuadro muestra la especiación de contaminantes presentes. Para la estimación de gases de efecto invernadero, la SEMARNAT utiliza los factores de emisión del IPCC, en el anexo I de esta guía (y publicaciones oficiales del IPCC). Para otros contaminantes se pueden usar otras fuentes, como el AP-42 sección I y III.
 9. Los BPC están prohibidos en México, actualmente muchas empresas ya los han sustituido. El SF₆ se usa en equipos de alto voltaje principalmente como dieléctrico, no todas las instalaciones lo contienen.
 10. El servicio de mantenimiento puede generar además, los contaminantes propios de la industria a la que pertenezca.
 11. La epíclorhidrina tiene múltiples usos en la industria, principalmente en el sector químico, para el metalúrgico puede encontrarse principalmente como aditivo (estabilizante) en solventes clorados o mezclas de ellos, usados para el desengrase previo a tratamientos térmicos.
 12. La hidracina, usada como agente anti corrosión (en agua de calderas por ejemplo), ha sido sustituida en muchas empresas por algún derivado menos contaminante. El uso de anilina también ha disminuido por la misma razón, todavía no hay certeza de que su uso haya sido erradicado totalmente.
 13. Las partículas emitidas en muchos procesos de extracción minera, de concentración de minerales y de obtención de metal metálico contienen metales pesados. El mercurio puede no estar asociado a las partículas en procesos en donde éste se vaporiza.
 14. Algunas empresas del sector metalúrgico pudieran utilizar sistemas de refrigeración para apoyar a sus procesos productivos.
 15. Uno de los gases que pueden liberarse de la mina misma es el metano.
 16. Como ya se ha mencionado antes, algunas empresas de este sector cuentan entre sus unidades de proceso con tratamientos superficiales químicos y/o electroquímicos, los cuales están incluidos en la guía del sector químico.
 17. En la descripción general de los procesos del sector, se incluye una lista extensiva de contaminantes emitidos a la atmósfera por el sector minero de metales proporcionado por la USEPA a partir del reporte y análisis de datos de muchos sitios mineros en los Estados Unidos de América. (USEPA, 1995b) Esta lista es muy grande para ponerse en esta tabla, las sustancias RETC incluidas en ellas son las mostradas aquí. El resto de la información se puede consultar en la sección mencionada del presente documento o directamente en la fuente. También es probable que alguna de las sustancias listadas por la USEPA actualmente se hayan sustituido por alguna otra y que en México se utilice algún sustituto por alguna razón, además de que puedan existir sustancias adicionales, en todo caso, el personal técnico de cada sitio podrá dar detalles al respecto.
 18. El N₂O puede ser utilizado en la industria en general como fluido refrigerante, pero también como agente de detección de fugas en recintos bajo presión de vacío o presurizados, como reactivo para la síntesis química (generalmente de compuestos orgánicos), como agente de criogénico de productos alimenticios, envasado de los mismos, como gas de anestesia médica y propulente de aerosoles.

Recuadro 84. Especiación de Contaminantes emitidos por el uso de diferentes combustibles. Con información de (USEPA, 2005) y (ATSDR, 2007)

Combustible	Estado de agregación	Contaminantes generados
Carbón	Sólido	CO₂ , CO, SO ₂ , NOx, HCT (acetileno, etano, m-xileno, p-xileno, hexano, propano, propeno, acetileno, n-butano, buteno, isobutano, n-pentano, isopentano, metilciclopentano, benceno , tolueno, etilbenceno, o-xileno), arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Carbón en suspensión	Líquido	CO₂ , CO, SO ₂ , NOx, HCT (parafinas C7-C16, metano , etano, n-pentano), arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Combustóleo pesado	Líquido	CO₂ , CO, SO ₂ , NOx, HCT (acroleína ¹ , metano , n-butano, hexano, formaldehído , acetona), arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Combustóleo ligero	Líquido	CO₂ , CO, SO ₂ , NOx, HCT (metano , n-butano, hexano, formaldehído , acetona)
Diesel	Líquido	CO₂ , CO, SO ₂ , NOx, HCT (formaldehído , n-butano, hexano, n-pentano, isobutano, isómeros de pentano, isómeros de hexano, isómeros de heptano, isómeros de octano, propano y heptano) arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Gas de horno de coque	Gaseoso	CO₂ , CO, NOx, HCT (metano , etano, etileno, propeno, acetileno, benceno)
Gas natural	Gaseoso	CO₂ , CO, NOx, HCT (metano , n-butano, isómeros de pentano, formaldehído , n-pentano, propano, benceno , tolueno, ciclohexano, isómeros de hexano)
Gas de refinería	Gaseoso	CO₂ , CO, NOx, HCT (n-butano, etano, propano, n-butano, propeno, formaldehído, metano , isobutano)

1.- La acroleína se puede generar en procesos de combustión diversos (ATSDR, 2007).

2.- Las especies resaltadas en letras "negritas" son RETC.

3.- El término "NOx" se emplea para denominar todos los compuestos formados por reacción del oxígeno (O₂) con el nitrógeno (N₂). Entre ellos se encuentran el NO, NO₂, N₂O, N₂O₂, N₂O₃, N₂O₄ y N₂O₅, pero sólo el bióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nitroso (N₂O), están incluidos en el listado RETC. Las emisiones de NOx provenientes de la combustión son principalmente en forma de NO y NO₂ (Calveras, 2006). Sin embargo la proporción entre ellos varía ampliamente entre 3 y 25% de NO₂; como regla general, se supone que el 3% de los NOx emitidos de calderas corresponde a NO₂ (INE-SEMARNAT, 2005), o bien que el 5% en procesos de combustión (USEPA, 2008b).

Cuando en el texto se haga la referencia "gases de combustión que dependen del combustible utilizado", la composición de estos se puede consultar aquí.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DEL SECTOR METALÚRGICO

A partir del conocimiento de los procesos productivos llevados a cabo en este sector industrial y del esfuerzo (investigación, desarrollo, organización, inversión etc.) de mejorar el desempeño productivo y ambiental de este sector industrial. La Unión Europea ha desarrollado una serie de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para mejorar las áreas de oportunidad existentes publicadas en los "Documentos de Referencia para las Mejores Técnicas Disponibles, conocidos como "BREF" para diversos sectores industriales (según su clasificación).

La colección de MTD presentadas no son exhaustivas (por la extensión del sector, avance continuo de la tecnología, etc.) y es posible (o probable) que el experto y/o industrial esté familiarizado con ellas e incluso, tenga un conocimiento más profundo de ellas y/o de MTD adicionales y/o de aquellas de las anteriores que puede aplicar en su sitio y el costo/beneficio concreto que éstas representan. Esta parte del presente documento no pretende ofender, aburrir o señalar a nadie, solo contribuir a que la COA sea un instrumento más confiable para hacer un inventario de emisiones al medio ambiente y para mejorar el desempeño ambiental general y productivo de

paso de la industria. A continuación se presenta un resumen de las que aplican a los procesos descritos en este documento.

METALURGIA FÉRREA (INDUSTRIA DEL HIERRO Y ACERO)

La industria del hierro y el acero es utiliza intensamente energía y materias primas. Más de la mitad de la materia que entra a sus instalaciones sale como gases de desecho, residuos sólidos y subproductos. Las emisiones que más impacto tienen son las atmosféricas, siendo esta la mayor área de oportunidad de desempeño ambiental.

El uso eficiente de energía es un aspecto en el que el sector metalúrgico ha realizado esfuerzos apreciables, al menos en años recientes, aunque debido a la gran cantidad de energía usada, todavía es un área de oportunidad que ayuda a reducir los costos y a disminuir el impacto ambiental. Algunos procesos son más susceptibles de mejoras que otros.

La tasa de reciclo y reúso de desechos sólidos se ha incrementado mucho en los últimos años, lo que ha ayudado de manera importante a reducir su impacto ambiental aunque todavía se tiene que lidiar con grandes cantidades de desechos que van a tratamiento o a un vertedero.

Las emisiones al agua pueden representar un impacto importante cuando se tienen efluentes de agua de proceso que estuvo en contacto con los materiales y cuando se tienen sistemas de lavado de gases de salida. El agua de enfriamiento puede llegar a contaminarse de grasas, aceites y lubricantes en algunos casos y las pérdidas por evaporación llegan a ser notables para ciertos procesos muy intensivos en energía.

De las instalaciones encontradas en una instalación siderometalúrgica, las plantas de sinterizado son aquellas que producen mas contaminantes. A pesar de que se han realizado muchos esfuerzos para reducir las, la contribución de emisiones contaminantes (principalmente al aire) de este sector es todavía considerable, sobre todo en países muy industrializados y para un número de contaminantes de interés también de mucho interés, como los metales pesados, dioxinas y furanos.

Para poder aprovechar las oportunidades de mejora, se tienen las siguientes Mejores Técnicas Disponibles, obtenidas a partir del conocimiento de los procesos productivos propios del sector que se espera sean de utilidad, al menos como punto de partida para la industria del hierro y acero que ha sido, es y será parte fundamental del desarrollo de México y el mundo.

MTD para plantas de sinterizado

El sinterizado, como producto de aglomeración de materiales, representa la mayor parte de la carga del alto horno. El aspecto ambiental más importante es la emisión de gases de desecho del tren de sinterizado, que contiene un amplio intervalo de contaminantes como polvos, metales pesados, SO₂, HCl, HF, CAPC, BPC, dioxinas y

furanos y otros compuestos organoclorados, por lo que la mayor parte de las mejores técnicas disponibles para la prevención y control de la contaminación están enfocadas a esta área de oportunidad de desempeño ambiental, principalmente polvos, dioxinas y furanos. Las MTD son las siguientes, aplicables a plantas nuevas y existentes:

1. Reducir la cantidad de polvos emitidos mediante la aplicación de sistemas de control de emisiones como:
 - Precipitación electrostática avanzada (de electrodo móvil, de pulsos, de operación de alto voltaje),
 - Precipitación electrostática más un filtro de telas,
 - Ciclones con lavador húmedo de alta presión.
2. Recirculación de gases de desecho, si la calidad del sinterizado y la productividad no se ven afectadas de forma importante mediante:
 - Recirculación de parte del gas de desecho proveniente del tren de sinterizado,
 - Recirculación seccionada de gases de desecho.
3. Reducir las emisiones de dioxinas y furanos mediante:
 - Recirculación de gases de desecho,
 - Tratamiento de los gases de salida del tren de sinterizado,
 - Uso de lavadores húmedos,
 - Filtros de tela con adición de polvo de coque de lignito (se ha llegado a reducciones mayores al 98% de la concentración de dioxinas y furanos).
4. Minimizar las emisiones de metales pesados mediante:
 - Uso de lavadores húmedos para remover cloruros de metales solubles, especialmente $PbCl_2$ (eficiencia mayor al 90%), o uso de un filtro de bolsas con adición de cal,
 - No reciclar (al proceso) los polvos colectados en el último campo del precipitador electrostático y disponer de ellos de forma segura (vertedero con membrana geotérmica impermeable o tratamiento de lixiviados), posiblemente después de la extracción con agua con subsecuente precipitación de metales pesados para disminuir la cantidad del desecho.
5. Minimizar la cantidad de desechos sólidos mediante:
 - Reciclado de subproductos que contengan hierro y carbón, tomando en cuenta el contenido de aceites de cada subproducto (menos del 0.1%),
 - De forma general y en orden de prioridad se debe procurar reducir la generación de desechos sólidos, reciclar de forma selectiva los sólidos generados, si no es posible el reúso interno, se debe de buscar un reúso externo, si no se puede reusar algún desecho, se debe hacer la disposición adecuada de cada residuo.

6. Disminuir el contenido de hidrocarburos de la alimentación de la planta de sinterizado y evitar el uso de la antracita como combustible.
7. Recuperar el calor sensible del gas de enfriamiento del sinterizado y si es posible del gas de desecho de la reja o parrilla de sinterizado. La recuperación de energía de la recirculación de gases de desecho es una opción que hay que tomar en cuenta también.
8. Minimizar la emisión de SO₂ mediante:
 - La disminución del contenido de azufre de las materias primas como el coque y la mena de hierro,
 - La disminución del consumo de coque,
 - Con sistemas de desulfuración húmeda de gases de desecho (dado el alto costo de estos sistemas, solo se recomienda aplicarlos cuando sean necesarios para cumplir con los estándares ambientales).
9. Minimizar las emisiones de NO_x mediante:
 - Recirculación de gases de desecho,
 - Uso de sistemas de eliminación de NO_x como el de carbón activado regenerativo, reducción catalítica selectiva (dado el alto costo de estos sistemas, solo se recomienda aplicarlos cuando sean necesarios para cumplir con los estándares ambientales).
10. Las emisiones de contaminantes en el agua (sin contar la de enfriamiento) solo son relevantes cuando se usa agua de enjuague o cuando se tienen sistemas de lavado de gases de desecho. En estos casos, el efluente de agua debe de ser tratado con precipitación de metales pesados, neutralización y filtros de arena. El efluente del tratamiento del tratamiento anterior, se debe de evaluar el contenido de sales y de ser necesario, tomar medidas al respecto. El agua de enfriamiento puede reciclarse.

MTD para plantas de pelletizado

La peletización es otro proceso de aglomeración de materiales que contienen hierro. Mientras que el sinterizado siempre se produce en siderúrgicas por varias razones, los pellets en muchas ocasiones son producidos en el sitio de la mina o incluso por compañías independientes. Para todos los casos, las emisiones al aire son la principal área de oportunidad de desempeño ambiental de este tipo de plantas. Las MTD para mejorar en estas áreas de oportunidad son las siguientes, aplicables a plantas nuevas y existentes:

1. Remoción eficiente de polvos, SO₂, HCl y HF del gas de desecho del tren de formación y endurecimiento (de los pellets) mediante:
 - Lavadores,

- Desulfuración semi seca y eliminación de polvos subsecuente con absorbedores de gas en suspensión (GSA) o cualquier otro dispositivo con una eficiencia igual o mayor.
2. Las emisiones de contaminantes en descargas de agua de lavado de gases se pueden reducir mediante un sistema cerrado de agua que incluya precipitación de metales, neutralización y filtrado con arena.
 3. Reducción en la generación de NO_x (y otros contaminantes, además de bajar costos etc.) mediante un diseño de planta optimizado para recuperar calor sensible del tren de producción. Los cambios y mejoras se hacen siempre de forma individual para cada planta ya que cada una presenta condiciones, retos y oportunidades diferentes, por lo que la reducción de NO_x puede variar en cada caso.
 4. Minimización de los NO_x mediante dispositivos de control de emisiones como la reducción catalítica selectiva (SCR). (dado el alto costo de estos sistemas, solo se recomienda aplicarlos cuando sean necesarios para cumplir con los estándares ambientales).
 5. Minimización de los desechos sólidos y subproductos mediante el uso y/o reciclo efectivo de ellos, disposición controlada y adecuada de aquellos que no se puedan reusar o reciclar.

MTD para las plantas de coquizado

El coque es necesario en esta industria como agente reductor principal en los altos hornos. Para estas plantas, las emisiones de contaminantes al aire también son las más significativas y la principal área de oportunidad de desempeño ambiental. Una buena parte de éstas, son fugitivas desde un número relativamente grande de fuentes como bridas, válvulas, puertas de hornos, en operaciones de carga, apagado, empujado de coque, en los patios, en la zona de hornos, en la planta de tratamiento de gas de coque entre otras. El principal punto de emisión de contaminantes al aire, es el gas de desecho de los sistemas de calentamiento del horno de coque.

Las emisiones de SO₂ pueden ser de particular interés ya que el gas de coque es una fuente importante de energía, muchas veces en la misma planta.

Otra área de oportunidad importante en estas plantas es la disposición y tratamiento de las aguas de desecho, ya que la concentración y variedad de contaminantes presentes en ellas puede tener un impacto ambiental considerable.

Por último, seguir mejorando el ahorro y uso eficiente de energética con la correspondiente disminución general de la emisión de contaminantes y de costos es otra área de oportunidad que siempre está presente. Una operación suave y sin

perturbaciones, así como un mantenimiento adecuado de los hornos es esencial para este fin y queda solo en el personal de cada sitio el aplicarlo.

Las MTD para mejorar en estas áreas de oportunidad en plantas nuevas y existentes de coque son las siguientes:

1. En general:

- Mantenimiento efectivo y extensivo a las cámaras de los hornos de coque, puertas y sellos, tuberías, agujeros de carga y otros equipos aledaños, llevado a cabo por personal específicamente entrenado, equipado y dirigido para tal fin,
- Limpieza de puertas, sellos, agujeros de carga y tuberías después del manejo de material. Mantener un flujo constante de gas en los hornos de coque.

2. Durante la carga (con carros):

- Realizarla sin generar humos y polvos desde un punto de vista integral (que el balance general de polvos generados sea el menor posible, no solo en un área) o carga secuencial con doble tubería de ascensión o con tubería “jumper”, considerando a todos los gases y partículas dentro del tratamiento de gases. Si los gases son extraídos y tratados fuera del horno de coque, entonces la carga debe de hacerse acorde con este método. El tratamiento debe de consistir en una evacuación eficiente, subsecuente combustión y eliminación de partículas presentes en los gases de combustión con filtros de tela.

3. Durante el coquizado:

- Mantener una operación suave, sin perturbaciones y sin cambios o fluctuaciones fuertes de temperatura,
- Utilizar puertas amortiguadas con resortes y con sello flexible o con borde afilado (solo en hornos iguales o menores a 5m de alto con buen mantenimiento),
- Tuberías de ascensión impermeabilizadas,
- Sellar los agujeros de carga con una suspensión de arcilla o algún otro material adecuado,
- Nivelar las puertas equipadas con paquete de sellado.

4. En el encendido:

- Utilizar gas de horno de coque desulfurado,
- Evitar las fugas y filtraciones entre la cámara del horno y la de calentamiento mediante una operación adecuada,
- Reparar todas las fugas y filtraciones entre la cámara del horno y la de calentamiento,
- Incorporar técnicas de bajos NOx en la construcción de baterías nuevas (como la combustión por etapas, dimensiones adecuadas),

- Minimización de los NOx mediante dispositivos de control de emisiones como la reducción catalítica selectiva (SCR). (dado el alto costo de estos sistemas, solo se recomienda aplicarlos cuando sean necesarios para cumplir con los estándares ambientales).
5. Extracción del coque hacia afuera:
 - Realizarla con una máquina de transferencia con campana integrada y con conexión a un sistema de tratamiento de gases que conste de un filtro de tela y carro con un solo punto de apagado.
 6. Apagado:
 - Evitar usar el agua de proceso con alta carga orgánica en el apagado húmedo,
 - Para el apagado en seco con recuperación de calor sensible y remoción de polvos de la carga, manejo y tamizado, utilizar un filtro de tela. Procurar tener un uso o aplicación la energía que se puede recuperar.
 7. Desulfuración (eliminación del H₂S) del gas de (horno) de coque:
 - Implementar sistemas de absorción,
 - Implementar sistemas de desulfuración oxidantes.
 8. Operación sin emisiones fugitivas en la planta de tratamiento de gas de coque:
 - Reducir el número de posibles fuentes de emisiones fugitivas como bridas, soldando las conexiones de tubería siempre que sea posible,
 - Usar bombas de bajas emisiones (de una colada, operadas magnéticamente),
 - Evitar las emisiones de válvulas en tanques de almacenamiento mediante la conexión de la salida de la válvula al sistema colector de gases de la planta (o algún otro sistema que los colecte para quemarlos posteriormente).
 9. Pretratamiento del agua de desecho:
 - Lavado eficiente con NH₃, usando álcalis,
 - Remoción de alquitranes.
 10. Tratamiento de aguas de desecho:
 - Incluir etapas de nitrificación y des nitrificación.

MTD para los altos hornos

Actualmente, el alto horno sigue siendo, pro mucho, el proceso más importante para generar arrabio partiendo de materiales con hierro. Debido al alto consumo de agentes reductores (coque y carbón principalmente), se consume la mayor parte de la energía usada en la elaboración de productos de hierro y acero.

En esta unidad, el área de oportunidad desempeño ambiental más importante son las emisiones a la atmósfera, seguida del consumo de energía aunque el tratamiento de

efluentes de agua, sobre todo de lavadores de gases y manejo de residuos sólidos también se toman en cuenta. Para los altos hornos, las MTD disponibles para mejorar en los aspectos anteriores son las siguientes:

1. Captura y recuperación de gas de alto horno.
2. Inyección directa de agentes reductores (por ejemplo, la inyección de 180kg de carbón por tonelada de carbón pulverizado ya se hace aunque es posible una tasa mayor).
3. Recuperación de energía de la parte superior del alto horno cuando sea posible.
4. En las estufas calientes, reducir emisiones de polvos y NOx con ajustes particulares y buena operación, además de ahorro de energía (si el diseño lo permite).
5. Usar revestimientos (refractarios) libres de alquitrán en los canales (runners) del alto horno.
6. Implementar un sistema de eliminación de partículas eficiente para el tratamiento del gas de alto horno. Remover las partículas gruesas preferentemente mediante técnicas de separación en seco (como un deflector) y procurar reutilizarlas. Las partículas finas se pueden remover mediante lavadores, precipitadores electrostáticos o alguna otra técnica de eficiencia igual o mayor.
7. Eliminación de polvos en la zona de vertido (hoyos de vertido, canales, desnatadores o canales de salida de escoria, puntos de carga de los carros torpedo) mediante la captura de los polvos (cubrir los puntos de emisión antes mencionados) y la purificación mediante filtros de tela y precipitadores electrostáticos. Es importante la eficiencia de la captura de los humos. La supresión de humos usando nitrógeno es una opción si el diseño de la zona de vertido del alto horno lo permite.
8. En el sistema de tratamiento del agua de los lavadores de gas de alto horno:
 - Reutilizar el agua tanto como se pueda,
 - Incluir unidades de coagulación/floculación sedimentación de sólidos suspendidos, entregando efluentes con menos de 20mg/L para promedio anual y hasta 50mg/L de valor alto en un día,
 - Incluir hidrociclones para los lodos con el reúso de partículas gruesas si es que la distribución de tamaño de partículas permite una separación razonable.
9. Minimizar las emisiones del tratamiento de la escoria y la escoria enviada a un vertedero mediante un tratamiento de granulación si el mercado lo permite y con sistema de condensación de humos si hay problemas de olor. Si trata en fosa, reducir lo más que se pueda el uso de agua para enfriar la escoria.

10. Minimizar la generación de residuos sólidos y subproductos mediante la aplicación de principios básicos como la reducción de la generación de éstos, reusar o reciclarlos una vez producidos (especialmente los polvos gruesos del tratamiento de gas de alto horno y de la zona de vertido de éste), reúso completo de la escoria (por ejemplo en cementeras o para construir caminos), disposición controlada de desechos que no se puedan reusar o reciclar (como la fracción fina del lodo generado en el tratamiento de gas de alto horno, escombros).

MTD para la aceración a partir del horno básico de oxígeno y colada

El objetivo de la aceración con oxígeno, las impurezas presentes en el arrabio producido en el alto horno se eliminan mediante un proceso de oxidación. Esta vía incluye el pre tratamiento del arrabio, la oxidación en el BOF, metalurgia secundaria y colada continua o en lingotes.

Las principales áreas de oportunidad de desempeño ambiental son las emisiones al aire desde varios puntos (como se describió en el proceso) y la generación de desechos sólidos y subproductos (también descritos anteriormente). Adicionalmente, la generación de corrientes líquidas con contaminantes en lavadores de gases y el uso eficiente de energía y recuperación de ésta también se consideran. Para esta vía de aceración, las MTD son las siguientes:

1. Abatimiento de partículas generadas en el pre tratamiento del metal caliente (incluida la transferencia, desulfuración y des escoriado) mediante:
 - Evacuación eficiente,
 - Purificación subsecuente mediante precipitadores electrostáticos y filtros de tela.
2. Recuperación de gas de BOF y eliminación primaria de partículas mediante:
 - Combustión suprimida y precipitador electrostático en seco o lavadores (para plantas existentes).

Nota: No en todos los casos se puede o vale la pena colectarlo y usarlo como combustible, para tales circunstancias, se colecta y se quema en combustión suprimida o completa, según el manejo local de energía).

3. Eliminación secundaria de partículas mediante:
 - Evacuación eficiente durante la carga y el vertido del contenido con la purificación subsecuente usando filtros de tela y precipitadores electrostáticos o alguna otra técnica con igual o mejor eficiencia,
 - Supresión de los humos durante el manejo del metal caliente, des escoriado y metalurgia secundaria inyectando gas inerte,
 - Reciclar hasta donde se pueda las partículas recolectadas (nótese el alto contenido en Zn en ellas). Tapar el agujero de la lanza durante el soplado de O₂.

4. Minimización de las emisiones de agua de la eliminación, base húmeda, primaria de partículas del gas de BOF mediante agua de las siguientes formas:
 - Limpieza en seco de partículas (si se tiene el espacio necesario),
 - Reciclar el agua de lavado tanto como sea posible (inyección de CO₂ en el caso de combustión suprimida).
5. Reducir las emisiones de contaminantes en el agua de enfriamiento directo en las máquinas de colada continua mediante:
 - Reciclado del agua de proceso y de enfriamiento tanto como sea posible,
 - Incluir en el tratamiento una etapa de coagulación y sedimentación de sólidos suspendidos,
 - Remover aceites usando tanques de separación de aceites o algún otro dispositivo igual o más efectivo.
6. Reducir la cantidad de los desechos sólidos mediante
 - Reducir la generación de éstos mediante una operación eficiente,
 - Reciclado y reúso efectivo de los desechos o subproductos, especialmente la escoria y partículas gruesas y finas del tratamiento del gas de BOF,
 - Disposición adecuada de los desechos sólidos que no se pueden reutilizar o reciclar.

MTD para la aceración a partir del horno de arco eléctrico y colada

La fundición directa de materiales que son ricos en hierro, principalmente chatarra, normalmente se hace en hornos de arco eléctrico utilizando una cantidad considerable de energía eléctrica y generando un amplio intervalo de contaminantes que salen a la atmósfera y residuos sólidos como polvos y escorias. Las emisiones a la atmósfera son probablemente la principal área de oportunidad de desempeño ambiental importante ya que contienen cloro bencenos, BPC, dioxinas, furanos, óxido de hierro y metales pesados, los desechos sólidos y el uso eficiente de energía son también áreas de oportunidad que se atienden en las MTD descritas a continuación para esta vía de aceración, para plantas nuevas o existentes.

1. Captura y recolección de polvos mediante:
 - Extracción directa de gases de desecho (2do o 4to agujero) y campanas,
 - Campanas o “casas de perro”,
 - Evacuación total del edificio.
2. Eliminación de polvos de la corriente de gases de desecho mediante la aplicación de sistemas de filtros de tela bien diseñados. La eliminación de partículas y polvos va de la mano con la eliminación de metales pesados a excepción de aquellos que van como vapores o gases como el mercurio.
3. Minimización de las emisiones de compuestos organoclorados, particularmente de dioxinas y furanos mediante un sistema apropiado de poscombustión dentro

del sistema de captura de gases de desecho o en una cámara de combustión separada con un apagado posterior para evitar la síntesis de novo y/o con inyección de polvo de lignito en el ducto antes de los filtros de tela.

4. Precalentamiento de la chatarra y recuperación de calor sensible de los gases de salida (hacerlo junto con la MTD del punto anterior). Se puede ahorrar de 60 a 100kWh/ton de chatarra aunque hay que evaluar en cada caso que tanto se incrementa la emisión de contaminantes y decidir hasta que punto conviene hacerlo.
5. Minimización de desechos sólidos y subproductos mediante la aplicación, en orden descendente de prioridad:
 - Reducir la generación de estos desechos mediante una buena operación y control,
 - Reciclar las escorias del EAF y polvos recolectados hasta donde sea posible en cada caso. Si los polvos contienen más de 20% de Zn se pueden usar en la industria de metales no ferrosos,
 - Los polvos filtrados de lotes de acero de alta aleación pueden tratarse para recuperar metales,
 - Para los desechos que no se puedan reciclar o reutilizar, se debe hacer lo posible por minimizar su generación y disponer de ellos adecuadamente.
6. Respecto a las emisiones de contaminantes en descargas de agua:
 - Sistema de agua de enfriamiento de ciclo cerrado para atender al horno y dispositivos aledaños,
 - Incluir en el tratamiento del agua etapas de precipitación y sedimentación de sólidos suspendidos,
 - Remoción de aceites en tanques de separación (de aceite) o algún otro dispositivo igualmente efectivo.

MTD para la laminación en caliente

Después de que el material ha sido elaborado, la laminación en caliente es el siguiente proceso para modificar las propiedades metalúrgicas del metal al comprimirlo en caliente (105 a 1300°C) con rodillos movidos por motores. El tren de laminación recibe como materia prima lingotes colados, planchones, billets (o palanquillas), tochos y perfiles en bruto, según el producto final que se quiera hacer y estos en forma general son planos o alargados.

Los trenes de laminación en caliente normalmente incluyen etapas como el acondicionamiento de la materia prima que incluye el desbarbado y/o desbaste, recalentamiento hasta la temperatura de laminación, descascarillado, laminación y acabado (corte). En la industria, estas instalaciones se clasifican según el tipo de producto que entregan y por su diseño en: laminadoras de planchón, de billets o palanquillas, de bandas en caliente, de chapa, de redondos y pletinas, estructurales y seccionales y laminadoras de tubos.

Las principales áreas de oportunidad de desempeño ambiental en estas instalaciones, que también pueden formar parte de las llamadas siderúrgicas integradas son las emisiones de contaminantes a la atmósfera, particularmente de NOx y SOx de los hornos, el consumo de energía, las emisiones de polvos (generalmente fugitivas de manejo, operaciones mecánicas, hornos), las descargas de agua con aceites emulsificados y sólidos y los residuos sólidos aceitosos.

Para mejorar en dichas áreas de oportunidad, se cuenta con las siguientes MTD para diferentes etapas de la laminación en caliente.

1. En el almacenamiento y durante la manipulación de materias primas e insumos:
 - Atención pronta y adecuada de fugas y derrames, incluir fosas de seguridad y sistemas de desagüe,
 - Separación de mezclas de aceite y agua, con reutilización del aceite recuperado y tratar el agua separada en la PTAR.
2. Durante el desbarbado mecánico:
 - Instalaciones adecuadas para llevar a cabo la operación, equipados con filtros de tela,
 - Si no se pueden usar los filtros de tela (en lugares muy húmedos), entonces usar precipitadores electrostáticos.
 - Recolección independiente de cascarillas y virutas generadas.
3. Desbaste:
 - Equipar el área con cabinas que cuenten con campanas de extracción y filtros de tela.
4. En todos los procesos de rectificado superficial:
 - Tratar y reutilizar el agua utilizada, al menos con sistemas de separación de sólidos,
 - Reciclaje interno de las cascarillas y virutas generadas y recolectadas. Es posible que se puedan vender a algún consumidor (si no se pueden reciclar o si conviene más).
5. Hornos de tratamiento térmico y de recalentado:
 - **Diseño óptimo** de los hornos (Incorporar una zona de recuperación de material, con sección de precalentamiento adecuada para la recuperación de energía, con quemadores radiantes en el techo para producir menos NOx, recirculación de gases, bien aislados y con materiales resistentes, durables, de preferencia con baja masa térmica, no usar fibras cerámicas o materiales que pueden afectar a la salud humana (materiales prohibidos o regulados), minimizar los huecos de las puertas usando cortinas refractarias aislantes para cuando éstas deban estar abiertas, medidas de compensación de marcas de deslizamiento o la desviación de guías, evitar las marcas de deslizamiento y usar una temperatura menor.

- **Operación:** Evitar turbulencias y cambios bruscos en la operación (disminuye NOx, cascarillas, consumo de combustible), minimizar el exceso de aire (sin generar CO excesivamente, disminuye NOx), utilizar un espectrómetro de gases ayuda a mantener un control fino del proceso, cerrar las puertas de los hornos en los paros momentáneos de producción entre otros).
 - Selección del combustible, preferentemente con bajos niveles de azufre, de ser posible, desulfurarlo, sobre todo en el caso de usar combustibles propios como el gas de coque, de alto horno, de BOF etc. Utilizar procesos automatizados de control de hornos para optimizar las condiciones de encendido y operación.
 - Recuperación de energía del gas de desecho para precalentar el material de alimentación, en quemadores de recuperación o regenerativos y/o en refrigeración por evaporación (si se necesita vapor).
 - Usar quemadores de bajos NOx de segunda generación.
 - Sistemas de reducción catalítica selectiva y reducción catalítica no selectiva para controlar la emisión de NOx en los gases de salida (algunos países y empresas consideran que todavía no hay suficiente información sobre estos sistemas como para considerarlos MTDs).
 - Reducir la pérdida de calor de producto en proceso minimizando el tiempo de almacenamiento y aislándolos térmicamente durante el almacenado o espera (Con cajas de conservación de calor o cubiertas aislantes).
 - Optimizar la logística de la planta para maximizar la carga en caliente, directa o laminación directa (según los esquemas de producción y calidad del producto).
 - Para instalaciones nuevas, instalar sistemas de moldeo de precisión y de láminas siempre y cuando sea posible.
6. Durante el decapado, el control adecuado del material para reducir el consumo de energía y agua, además de reducir el correspondiente efluente de desecho.
 7. Durante el transporte del material laminado se pueden reducir las pérdidas de energía mediante cajas de bobinas u hornos de recuperación
 8. En el tren de acabado, los atomizadores de agua deben de estar instalados junto con un sistema de tratamiento residual que pueda separar los sólidos arrastrados para reutilizarlos.
 9. En el aplanado y la soldadura se deben instalar campanas de extracción de humos y vapores y filtros de tela para eliminar los polvos colectados.
 10. Si se usan sistemas de refrigeración (enfriamiento), debe de haber sistemas independientes con circuito cerrado de agua.
 11. En la planta de tratamiento de aguas residuales (con cascarillas y aceites) se debe implementar un circuito cerrado capaz de una recirculación o reciclo de agua de más del 95% con etapas de pozos de cascarillas, sedimentadores,

ciclones, filtros, separación de aceites, etc. (hay muchas formas y combinaciones posibles) para reducir la emisión de sólidos, aceites y metales pesados. Recuperar y reciclar al proceso la cascarilla y virutas. Los lodos aceitosos se deben deshidratar para aprovecharlos térmicamente o desecharlos adecuadamente.

12. Para evitar las emisiones fugitivas de hidrocarburos en general:

- Inspección y mantenimiento prevenido de cierres, juntas, bombas, tuberías, bridas etc.,
- Uso de cojinetes y juntas de diseño de bajas emisiones, instalación de indicadores de fugas en líneas de aceite lubricante,
- Recolección y tratamiento del agua contaminada en diversos puntos del proceso para la separación del aceite y reutilización del mismo (como combustible en alto horno por ejemplo). Tratamiento posterior del agua separada con usarse de nuevo (ultrafiltración o evaporación al vacío).

13. En los talleres de laminación en caliente:

- Usar desengrasantes con base acuosa siempre que sea posible y técnicamente aceptable sin sacrificar la calidad de la limpieza necesaria,
- Si se usan disolventes orgánicos, preferir los no clorados,
- La grasa retirada de los muñones de los rodillos y muelas de desbaste debe de ser eliminada adecuadamente (por ejemplo, mediante incineración),
- El lodo de desbaste debe de tratarse primero con separadores magnéticos para recuperar las partículas metálicas y reciclarlas al proceso,
- Disposición adecuada de los residuos de minerales de las muelas de desbaste y muelas gastadas (generalmente en vertederos),
- Tratamiento del agua de enfriamiento y emulsiones usadas en el corte para recuperar el aceite. Los lodos se deben deshidratar para disponer de ellos o usarlos como combustible (de ser factible y técnicamente apropiado),
- Reciclaje de las virutas al proceso de aceración (alto horno, EAF, BOF etc.).

MTD para la laminación en frío

Los trenes de laminación en frío se encargan de modificar (para mejorar) las propiedades de los productos planos (bandas, placas, chapa) laminados en caliente mediante la compresión mecánica en rodillos sin calentamiento previo de la pieza. Las etapas y naturaleza de éstas dependen del producto final a obtener y de la materia prima, que generalmente se entrega con las cualidades necesarias (mínimas) para cada caso.

Para productos de acero de baja aleación y al carbón generalmente se incluyen etapas como el decapado con ácidos, reducción mecánica de grosos, regeneración de la estructura cristalina (tratamiento térmico por lo general), laminación de temple (o de efecto superficial) para afinar las propiedades de la superficie (rugosidad, brillo etc.) y el acabado. Para aceros de alta aleación (como el inoxidable) se adicionan etapas como el recocido y decapado en caliente de las banas, laminación en frío

(2da vez), recocido y decapado de brillo, laminación de efecto superficial y acabado.

Las principales áreas de oportunidad de desempeño ambiental del laminado en frío (también parte de las siderúrgicas integradas) son los residuos ácidos y las aguas de desecho, los vapores del desengrasado, la generación de nieblas ácidas y de aceites, polvos de operaciones mecánicas, los NOx del decapado de mezcla de ácidos y los gases de combustión de los hornos de los tratamientos térmicos. Para mejorar en esas áreas de oportunidad se tienen las siguientes MTDs:

1. En el enderezado de la pieza se pueden usar cortinas de agua, seguidas del tratamiento del agua residual para separar y reciclar los sólidos. Usar sistemas de extracción con tratamiento posterior con filtros de tela y reciclaje de los polvos al proceso productivo.
2. En el decapado con ácidos debe reducirse el consumo de ácidos y la generación de residuos mediante el buen manejo, manipulación, almacenamiento etc. para evitar de la corrosión del metal. Implementar una etapa de "pre decapado" mecánico en una unidad cerrada, con sistema de extracción y filtros de tela para disminuir la necesidad de uso de ácido posteriormente.

Si es posible implementar una etapa de decapado electrolítico previo. Hacer la operación en instalaciones óptimas y adecuadas que incluyan rociadores y sistemas de agitado si se hace por inmersión, para el caso de usar HCl, H₂SO₄, o mezclas con HNO₃ realizar la operación en equipo totalmente cerrado con campanas de extracción, además utilizar lavadores con H₂O₂ o urea si se usan mezclas de ácidos.

Si se usan mezclas de ácidos, suprimir la generación de NOx agregando H₂O₂ o urea al baño de decapado o no añadir a la mezcla HNO₃. Utilizar sistemas de filtrado y recirculación de solución en los baños de decapado. Implementar sistemas de recuperación de ácido como los de electrodiálisis, intercambio iónico, tostado de rocío, evaporación (según aplique y convenga más) para regenerar el baño. Si se genera algún subproducto útil aprovecharlo (de ser factible).

3. En el calentamiento de ácidos utilizar sistemas indirectos (intercambiadores de calor) o si debe producirse el vapor primero, en combustión sumergida y no utilizar inyección directa de vapor.
4. Para reducir la generación de agua residual, implementar sistemas de lavado en cascada con reúso interno del caudal sobrante y ajustar el sistema de regeneración y lavado de los ácidos usados.
5. En el tratamiento de aguas incluir etapas de neutralización, floculación y precipitación cuando no se pueda evitar la purga ácida del sistema.
6. En los sistemas de emulsión, evitar las emisiones fugitivas de hidrocarburos

mediante la inspección y mantenimiento de bridas, juntas, tuberías etc. En lo posible, limpiar y reutilizar la emulsión para prolongar su vida útil y tratar la emulsión gastada (de desecho) para reducir el contenido de aceite (mediante ultrafiltración, separación electrolítica etc.).

7. En la laminación y revenido implementar sistemas de extracción y sistemas de tratamiento del aire extraído con eliminadores de nieblas.
8. En el desengrase utilizar un circuito cerrado con limpieza y reutilización de la solución. La filtración con membrana y con métodos mecánicos son generalmente adecuados. El tratamiento de la solución desengrasante de desecho mediante la separación electrolítica de la emulsión o ultrafiltración para reducir el contenido de aceite y luego reutilizar la fracción recuperada de aceite, con el tratamiento posterior de la fase acuosa (neutralización al menos) antes de desecharla. Utilizar sistemas de extracción de vapores durante la operación.
9. En hornos de recocido, utilizar quemadores de bajos NOx, precalentar el aire de combustión con quemadores regenerativos o de recuperación o precalentar el material a recocer con el gas de desecho.
10. Realizar el aplanado y soldadura en instalaciones provistas de campanas de extracción y filtros de tela.
11. Contar con sistemas de enfriamiento independientes con circuitos cerrados de agua.
12. En los talleres de laminación en frío aplican las mismas MTD vistas que para los talleres de laminación en caliente.
13. Reciclar todos los desechos sólidos metálicos al proceso metalúrgico de elaboración de hierro y acero (alto horno, BOF, EAF etc.).

METALURGIA NO FÉRREA (INDUSTRIA DEL ALUMINIO)

La industria metalúrgica de metales no ferrosos incluye a más de 42 metales distintos más las ferroleaciones, el carbono y el grafito que se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones en la industria metalúrgica, química, de construcción, transporte y producción y distribución de energía.

Los metales no ferrosos se producen a partir de materiales primarios y secundarios, igual que el hierro. Actualmente el reciclaje constituye una fuente importante de estos materiales ya que los metales (el hierro incluido) no pierden sus propiedades a pesar de que se les recicle una y otra vez. (Eso no impide hacer productos de mala calidad pero eso es otro tema). En metales como el aluminio, el reciclaje es una fuente más importante que las materias primas primarias, lo que ayuda mucho a eliminar las emisiones al medio ambiente generadas al procesarlo y a reducir el consumo de energía necesario.

El Aluminio es un metal que se procesa y maneja desde hace poco tiempo en la civilización humana, se empezó a fundir hace aproximadamente un siglo, actualmente tiene gran importancia debido a sus propiedades ya que es ligero, buen conductor de la electricidad y al estar expuesto a la atmosfera forma una capa de oxido en su superficie que lo protege de una mayor corrosión. Se utiliza principalmente en la industria metal mecánica (automotriz y aeronáutica sobre todo), de construcción, de envasado, sistemas de producción y distribución de electricidad, de electrodomésticos y agrícola. También se utiliza en la industria metalúrgica para obtener otros metales. La industria de este metal es la más reciente y la mayor de las correspondientes a metales no féreos.

Las áreas de oportunidad de desempeño ambiental son las emisiones a la atmósfera de contaminantes como fluoruros (HF), polvos, compuestos de metales pesados, SO₂, COS, CAPC, COVs, CO₂, fluorocarbonos, dioxinas, furanos, cloruros y HCl. Los residuos sólidos de bauxita, material refractario de desecho de crisoles consumidos, polvos de filtros y escorias salinas y el uso eficiente de energía. Para mejorar en las áreas anteriores, se tienen las siguientes MTDs.

MTD para la selección, operación adecuada y minimización de emisiones del proceso (aluminio primario)

Utilizar celdas pre cocidas (con electrodos pre cocidos) con alimentación central, sistema automático de múltiples puntos de alúmina se considera como la mejor opción en general. Además se debe de contar con:

- Control por computadora del proceso electrolítico, basado en bases de datos y el control de parámetros operativos de las celas para optimizar el uso de energía y reducir el número y duración de los efectos anódicos.
- Diseño de las celdas con campanas conectadas a sistemas de extracción de gases con filtros. La cubierta debe de ser resistente, cubrir adecuadamente a las celdas, operar con una velocidad de extracción adecuada. Además se debe de tener un sistema de enfriamiento cerrado para las puntas de los ánodos.
- La captura de gases debe de ser mayor al 99% (en operación a largo plazo). Minimizar el tiempo de apertura de las cubiertas para cambio de ánodos. Programar adecuadamente las intervenciones de mantenimiento
- Implementar métodos de limpieza efectivos en la producción de barras, destinados a recuperar fluoruros y carbón. En la misma área utilizar sistemas de extracción y filtración de gases.
- Si es necesario reducir las emisiones de SO₂, se puede recurrir a carbón con un contenido menor de azufre (si es factible técnicamente) o a un lavador de gases.
- Los gases evacuados de la etapa de fundición primaria deben de ser tratados para eliminar polvos, fluoruros y HF utilizando un lavador (eficiencia >99.8%

para fluoruros) con alúmina y un filtro de tela. La alúmina debe de usarse en las celdas electrolíticas.

- Si se cuenta con una unidad de ánodos en la planta, los gases de esta área deben de tratarse con un lavador de alúmina y con un filtro de tela. La alúmina se utiliza luego en las celdas electrolíticas. Los alquitranes residuales de la mezcla y formación del ánodo se tienen que tratar también (con un filtro de coque por ejemplo).

MTD para la selección, operación adecuada y minimización de emisiones del proceso (aluminio secundario)

Actualmente, el detalle de la configuración de una planta de aluminio secundario puede variar según el tipo de chatarra que se use como materia prima y la tecnología utilizada. En general se consideran como MTD el uso de horno de reverbero, rotatorio basculante, rotatorio, de inducción y horno “meltower” siempre y cuando se diseñen, equipen, operen, reciban mantenimiento efectivo y se carguen con la materia prima más adecuada para ellos. El siguiente recuadro resume los hornos considerados como MTD para producir aluminio secundario y da información básica sobre ellos.

Recuadro 85. Hornos considerados como MTD para la producción de aluminio secundario. Con información de (BREF, 2005)

Horno	Captura de vapores	Ventajas	Desventajas	Notas
De reverbero	Sistema cerrado semi	Gran capacidad de carga de metal	Es poco eficiente, restricciones en el tipo de alimentación	Puede utilizar sistemas de alimentación de carro cerrado
De reverbero con pozo lateral/pozo de carga	Sistema cerrado semi	El peso de carga permite una recuperación efectiva del material. Tiene un amplio intervalo de materiales de alimentación	LA eficiencia térmica es relativamente baja	Usa sistemas de alimentación de carro cerrado
rotatorio	Sistema cerrado semi	Prácticamente no tiene restricciones respecto a las condiciones o materiales de carga y tiene buena eficiencia térmica	Alto nivel de escoria salina	Extracción de vapores focalizada
Rotatorio basculante	Sistema cerrado semi	Efectivo para materiales de baja calidad. Puede tratar escorias superficiales. Buena eficiencia térmica	La capacidad de proceso es limitada	Consumo mínimo de fundente salino

Horno	Captura de vapores	Ventajas	Desventajas	Notas
De inducción	Abierta, con campana de extracción	No genera gases de combustión (al menos en sitio)	Trabaja generalmente chatarra limpia, tiene una capacidad relativamente baja	Muy útil en ciertas instalaciones
Meltower (horno de cuba)	Sistema cerrado	Precalentamiento de la carga		Para materiales limpios

Además se consideran las siguientes MTD:

- En lo posible, seleccionar el material adecuado según el tipo de horno que se tenga y enviar otros materiales a instalaciones con equipos adecuados. Evitar el uso de sal mientras sea posible o práctico hacerlo, recuperar la mayor cantidad de subproductos.
- Utilizar sistemas de cargas cerrados de ser posible (como los de carro de carga cerrado).
- Implementar cabinas, campanas y sistemas de extracción de humos y vapores para capturar las emisiones fugitivas (mientras se pueda hacer y sea práctico).
- Eliminar el aceite y otros compuestos orgánicos de las virutas mediante centrifugado, secado o algún otro método antes de la fusión de la chatarra si el horno no está diseñado o equipado para lidiar con esta carga y sus efectos.
- Implementar sistemas de poscombustión para eliminar compuestos orgánicos de los gases de desecho, como dioxinas y furanos.
- Inyección de carbón activado y/o cal para reducir la concentración de gases ácidos, compuestos orgánicos, dioxinas y furanos.
- Recuperación de calor (si es posible hacerlo).
- Uso de filtros de tela o de cerámica para capturar polvos.

Otras MTD para otras etapas en la producción de aluminio

- Para producir alúmina, el proceso Bayer se considera la mejor alternativa.
- En el refinado de aluminio (primario o secundario) el uso de mezclas de cloruro y Ar/N₂ o de fundente salino (AlF₃) son la opción recomendada.
- Utilizar atmosfera inerte y enfriado en bidón hermético o prensa para escorias en el tratamiento de éstas.
- Capturar y tratar los gases y vapores con filtros de tela, emanados de la etapa de retención y desgasado del metal caliente.
- Se tiene poca información sobre la formación de dioxinas y furanos durante el refinado y moldeo, cualquier investigación o experiencia que aporte información al respecto es muy valiosa.

ÁREAS DE ALMACENAMIENTO INDUSTRIAL

Estos lugares, son de gran relevancia en prácticamente todas las industrias, ya que siempre es necesario almacenar materias primas, insumos, reactivos, producto intermedio y producto final. Cada industria maneja materiales diferentes en cantidades diferentes, por lo tanto, sus almacenes tienen características y necesidades diferentes por lo que se tienen diferentes. Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) que se pueden aplicar, en general, a estas instalaciones para evitar accidentes, manejar adecuadamente los materiales y evitar emisiones de contaminantes en el área son las siguientes.

Implementar sistemas de almacenamiento de líquidos que cuente con cámaras o recintos impermeables y con capacidad para contener al menos el volumen del tanque mayor. Además de poder contener y manejar las fugas de los tanques y sistemas de suministro.

El ácido sulfúrico y otras sustancias reactivas deben almacenarse en tanques de doble pared o en cámaras químicamente resistentes a sus efectos de la misma capacidad. La bodega debe contar con sistemas de detección de fugas y alarmas. Si existe riesgo de infiltración de agua y la naturaleza de la sustancia guardada exige que ésta no se infiltre, la bodega debe ser impermeabilizada adecuadamente.

Los puntos de suministro se deben incluir en la bodega o almacén en un área especialmente diseñada para manejar derrames. Los gases desplazados se deben capturar y devolver los gases al vehículo de suministro para reducir los COVs. El uso de sistemas de cierre automático es una alternativa que se debe estudiar en cada caso.

Los materiales incompatibles (como oxidantes y sustancias orgánicas) se deben separar y de ser necesario, usar gases inertes en las zonas de almacenamiento.

Los sistemas de control y tratamiento de emisiones deben ser capaces de manejar efluentes que contengan los insumos y materias primas almacenadas y usadas en el proceso.

Los equipos de transporte de insumos como cintas transportadoras y ductos se deben situar por arriba del nivel del suelo para que las fugas se puedan detectar rápidamente y atenderse de forma efectiva. Si se usan tuberías o sistemas de conducción subterráneos, se debe tener bien identificado por donde pasan y marcarse en las áreas y usar métodos de excavación seguros cuando sea necesario hacer estas operaciones.

Utilizar depósitos y recipientes bien diseñados, contruidos y robustos para almacenar gases a presión con sistemas de control adecuados para evitar rupturas y fugas. Monitorear las concentraciones de gases en zonas confinadas y cerca de los tanques de almacenamiento para detectar situaciones de riesgo y actuar en consecuencia.

De ser necesario, implementar sistemas herméticos de suministro, almacenamiento (como los silos) y distribución de materiales particulados. El uso de naves o edificios completamente cerrados es una alternativa para no tener que usar filtros especiales.

Los sólidos que no son susceptibles de generar partículas suspendidas en el aire y que son insolubles, se pueden almacenar en áreas herméticas con sistemas de desagüe y captura de éstas.

Las virutas y otros materiales aceites se deben almacenar en lugares cubiertos para evitar que los aceites contaminen el agua de lluvia o de alguna otra fuente.

Planificar el transporte de materias primas para minimizar el transporte de polvo hacia adentro de las instalaciones de producción. El agua de lluvia que arrastre los polvos depositados de este tipo se debe de recolectar y tratar antes de desecharse, de ser posible reciclar esta agua.

Contar con sistemas de lavado de las ruedas y carrocería de los vehículos de transporte de materiales según las condiciones particulares del sitio. La planeación de campañas de limpieza de carreteras es otra opción a considerar.

Adoptar sistemas de control de inventarios y de inspección de las instalaciones de almacenamiento para prevenir derrames y detectar fugas.

Implementar sistemas de muestreo y análisis para determinar la calidad de la materia prima y determinar el método de proceso (de ser posible) o al menos ajustar el existente. Estos sistemas deben de tener el mismo estándar de calidad que los correspondientes al manejo y almacenamiento de materiales.

Las áreas de almacenamiento para sustancias de carácter químico reductor, como el carbón, coque, virutas de madera deben de vigilarse para evitar incendios causados por la ignición espontánea de estos materiales.

EQUIPOS DE COMBUSTIÓN (PARA GENERACIÓN DE CALOR, VAPOR Y/O ELECTRICIDAD)

Dentro de la industria en general, la fuente de energía más utilizada son los equipos de combustión¹, los cuales usan algún tipo de combustible para generar energía térmica y/o energía eléctrica para poner en función los equipos y maquinaria necesaria para hacer funcionar los procesos productivos. De forma general, las áreas de oportunidad de desempeño ambiental para esta parte de la industria son en general:

1. Eficiencia y optimización general de la unidad o planta de combustión,
2. Emisiones a la atmósfera,
3. Emisiones al agua,
4. Desechos sólidos.

Para mejorar disminuir las emisiones de todo tipo, utilizar menos combustibles y aprovechar mejor la energía, la MTD general es tomar todas las medidas necesarias para que el proceso sea eficiente y seguro, éstas medidas dependen del tipo de combustible usado (sólido, líquido o gaseoso), la tecnología utilizada y las particularidades de la instalación.

Para reducir las emisiones a la atmósfera, algunas MTD generales y aplicables, (según el caso) son las siguientes:

1. Cambio de combustible, por otros con menos impurezas (azufre, metales pesados, etc.).
2. Si es posible, usar combustibles gaseosos como primera opción o líquidos si la anterior no es práctica o factible, en vez de combustibles sólidos.
3. Modificaciones al proceso de combustión como el cambio de capacidad, de quemadores, a los interiores de los hornos, al sistema de aire y combustible (reciclo de gases de desecho, premezclado, molienda fina, gasificación, secado, uso de aditivos).
4. Uso de equipos de control de emisiones de partículas como precipitadores electrostáticos (secos, húmedos, de zona caliente, de zona fría), filtros de telas (de tipo interior-exterior y viceversa, con flujo de aire reversible, de pulso, de chorro, de distintos materiales como nomex, fibra de vidrio, teflón, rayón etc.) lavadores húmedos de tipo venturi, de lecho movable, combinados, entre otros.
5. Utilizar medidas primarias de desulfuración como absorbentes como CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 en el lecho fluidizado de combustión para combustibles sólidos.
6. Utilizar medidas secundarias de desulfuración como procesos regenerativos, húmedos (Wellman-Lord), secos (carbón activado), no regenerativos secos (inyección de absorbentes), semisecos (absorción mediante rociado-secado), húmedos (lavado con H_2O_2 , álcalis, NH_3 , NaOH , cal).
7. Para reducir la emisión de NO_x las medidas primarias a aplicar son la reducción del exceso de aire, recirculación de gases de desecho, precalentamiento de aire reducido, instalar quemadores de bajos NO_x , creación de zonas divididas de combustión (una con poco oxígeno y otra con exceso) inyección de combustible en etapas (requemado de combustible).
8. Para reducir la emisión de NO_x , las medidas secundarias incluyen sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) y no selectiva (NSCR).
9. Para la reducción de emisiones de SO_x y NO_x al mismo tiempo existen alternativas como el uso de sistemas de absorción y regeneración (proceso con carbón activado, proceso NO_xSO , proceso con CuO , proceso con ZnO , los dos últimos en desarrollo), procesos catalíticos gas/sólidos (SNO_x , DESONO_x ,

SNRB, FGC, CFC entre otros), irradiación de haz de electrones, inyección de álcalis, lavadores húmedos con aditivos especiales (Fe^{+2} , EDTA, fósforo amarillo para SO_x , ClO_2 , O_3 para NO_x/SO_x , NaClO para Hg aunque el costo puede ser un impedimento).

10. Las técnicas de remoción de SO_x y de control de partículas también ayudan a disminuir la emisión de metales a la atmósfera.
11. Utilizar filtros de carbón o coque para eliminar metales pesados como Cd, Hg y Pb de los gases de salida. Adsorbentes con azufre impregnado para vapores de Hg, filtros de selenio para Hg.
12. La limpieza del carbón a quemar ayuda a minimizar mucho las emisiones de Hg (y de otros contaminantes como SO_x , cenizas).
13. Un nivel bajo de emisiones de hidrocarburos y CO se logra mediante un control adecuado del proceso de combustión. (temperatura de flama, tiempo de residencia, tasa aire/combustible, variabilidad en la calidad del combustible, cargas parciales, malfuncionamiento del quemador entre otras).
14. Para reducir la emisión de halógenos (HCl, HF) los sistemas de reducción de emisiones de partículas, SO_x y NO_x también sirven.
15. Además de una unidad o planta adecuadamente instalada, operada e integrada energéticamente para optimizar el uso del combustible y aprovechar la energía generada. Para reducir las emisiones de CO_2 en los gases de cola actualmente existen varias opciones que todavía no se aplican en grandes sitios de combustión y que podrían ser MTD en algún tiempo, como técnicas de absorción, criogénicas, separación por medio de membranas, técnica de Carnot, disposición de CO_2 subterránea o en el océano (captura, enriquecimiento, compresión, inyección o licuefacción etc.).

Para reducir las emisiones de contaminantes en descargas de agua, algunas MTD generales y aplicables, (según el caso) son las siguientes:

1. Buen diseño de sistemas de drenaje, mediante gravedad tanto como sea posible.
2. Separar las corrientes de agua a tratar (agua de las unidades de desulfuración de los gases de desecho y otros sistemas húmedos de control de emisiones, de los circuitos de enfriamiento, efluentes de regeneración plantas de desmineralización, descargas de generadores de vapor de tambor, del ciclo de vapor-agua de manejo de cenizas y escorias, efluentes de limpieza y de conservación de calentadores, efluentes aceitosos de la eliminación de agua de combustóleos, área de transformadores, turbinas), agua de lluvia, de conraincendios colectada y agua de servicios sanitarios.

3. Implementar la combinación de técnicas como filtración, corrección y/o neutralización de pH, coagulación /floculación /precipitación, sedimentación/filtración/flotación, separación de agua/aceite, tratamientos biológicos que mejor responda a las características de los efluentes generados, también tomar en cuenta las necesidades del resto del proceso en el diseño (aunque muchas veces se pueden instalar PTAR diferentes para lidiar con corrientes muy cargadas o difíciles de tratar como las que pueden generarse en la industria química). El uso de un contratista externo para estas aguas es una opción siempre y cuando se haga adecuadamente.
4. Reutilizar y reciclar la mayor cantidad de agua posible para minimizar el consumo de este insumo, atendiendo a la calidad necesaria para cada etapa.

Para reducir la generación de desechos sólidos y manejarlos adecuadamente, algunas MTD generales y aplicables, (según el caso) son las siguientes:

1. Algunos sólidos generados en la instalación (como materia orgánica colectada en la toma de agua de enfriamiento) puede usarse como combustible o se puede hacer composta para mejorar la calidad del suelo.
2. Los lodos de las unidades de desulfuración de gases de desecho posiblemente se puedan reutilizar como agentes en dicha unidad por su contenido en calcio o usarse en plantas de carbón para mejorar el comportamiento de las cenizas fundidas. Por el contenido de yeso en estos lodos, se pueden utilizar en la fabricación de cemento, siempre que no afecten su calidad. Los lodos que no sean adecuados para estos usos se desechan en vertedero.
3. Los lodos de tratamiento de aguas crudas, se pueden descarbonizar y usar para aplicaciones en donde el carbonato de calcio es útil (manejo de cenizas, desulfurar gases, fertilizantes).
4. Otros residuos de la desulfuración como el yeso y los sulfatos de amonio se pueden utilizar como ingredientes de fertilizantes, preferentemente como aditivos puntuales en donde son necesitados (no esparcir en forma no controlada). También se puede generar ácido sulfúrico o azufre. Otro uso es como relleno en minas. (valorar la presencia de metales pesados y otras impurezas para los usos posibles mencionados o algún otro que sea factible).
5. Los residuos de la remoción de cenizas de los gases de desecho y escorias de los fondos húmedos y secos de los hornos pueden usarse en la industria de minerales (cemento, concreto, construcción de caminos, mortero, ladrillos, bloques, pavimento entre otros).
6. Las cenizas de lignito se usan como estabilizador libre de lixiviados mezclado con aguas de desecho para unidades de desulfuración, en operaciones de recuperación y recubrimiento de superficies y en la manufactura de cemento (con

cierta calidad), algunas plantas de combustión de lecho fluidizado la utilizan también.

La presencia de elementos radioactivos en minerales de carbón, es un asunto que puede impactar de manera negativa a la salud de los trabajadores más que al medio ambiente en general. En la actualidad, la conciencia de este hecho ha llevado a múltiples esfuerzos de las compañías que lo explotan para detectar la presencia de estos elementos incluso antes de la fase de explotación y a implementar medidas para proteger a los trabajadores y separarlos lo más posible para evitar que lleguen al equipo de combustión.

Nota 1: En estos equipos los gases de combustión no se ponen en contacto con los materiales del proceso y sus emisiones dependen principalmente del combustible utilizado (como calentadores, secadores indirectos, generadores de vapor, calderas, algunos tipos de hornos entre otros).

TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS SUPERFICIALES

La industria de recubrimientos mediante tratamientos químicos y electroquímicos es una parte del sector químico que está íntimamente relacionada con la industria metalúrgica, metalmecánica y de plásticos ya que muchos productos de metal y plástico requieren mejorar sus propiedades para poder integrarse a productos actuales (por ejemplo, carros). La descripción de las aéreas de oportunidad de desempeño ambiental y las MTD generales para estas actividades se ven en la guía de la industria química.

ANEXO IV

REGULACIÓN Y NORMAS APLICABLES

Como se ha podido observar. El sector metalúrgico es sumamente diverso en muchos sentidos (procesos productivos, importancia económica, impacto ambiental etc.), sin embargo, en México, las normas existentes para regularlo son pocas. En el recuadro siguiente se muestra el nombre de cada una, el campo de aplicación, los parámetros normados y las observaciones pertinentes de las normas que regulan la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Recuadro 86. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al sector metalúrgico para emisiones de contaminantes a la atmósfera

Norma	Campo de aplicación	Parámetros normados	Unidad	Observaciones
NOM-085-SEMARNAT-2011	Fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles	Partículas (PST)	mg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> - Los LMP se establecen de acuerdo con la zona geográfica, la capacidad térmica y el tipo de combustible - La medición y análisis de las emisiones se realiza con la frecuencia y método indicado en la Tabla 6 de la norma - A 25°C, 760 mm de Hg, corregidos al 5% O₂ y base seca cuando se refieren en concentraciones
		Bióxido de azufre (SO ₂)	ppm _v	
		Óxidos de nitrógeno (NO _x)		
		Monóxido de carbono (CO)	ppm _v	
		Densidad de humo	Número de mancha u opacidad	
NOM-043-SEMARNAT-1993	Emisión de partículas de fuentes fijas	Partículas	mg/m ³	- El LMP se define en función del flujo de gases y de la zona del país

En cuando a las emisiones al agua, el siguiente recuadro resume las normas aplicables al sector metalúrgico (y a todos los demás). Éstas se basan en el destino de la descarga y no en los contaminantes particulares presentes en ellas. El siguiente recuadro presenta las tres normas que aplican a estas descargas con: el nombre de la norma, el campo de aplicación, los parámetros normados y algunas observaciones pertinentes.

Recuadro 87. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al sector metalúrgico para emisiones de contaminantes al agua.

Norma	Campo de aplicación	Parámetro normado	Unidad	Observaciones
NOM-001-SEMARNAT-1996	Descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	Temperatura	°C	<ul style="list-style-type: none"> -La frecuencia de muestreo depende de las horas/día que opera el proceso -El rango permisible de pH es de 5 a 10 unidades -Los LMP para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros dependen del cuerpo receptor y del uso -Para descargas no municipales, las fechas límite de cumplimiento de la norma, la
		Potencial hidrógeno	pH	
		Grasas y aceites	mg/L	
		Materia flotante		
		S. sedimentables		
		S. suspendidos totales		
		DBO ₅		
Nitrógeno total				

Norma	Campo de aplicación	Parámetro normado	Unidad	Observaciones
		Fósforo total		presentación del programa para el control de la calidad de sus descargas y la periodicidad de análisis y reportes dependen de la carga contaminante expresada como DBO ₅ o SST -Los métodos de prueba se indican en la sección 2 <i>Referencias</i> de la norma
		Coliformes fecales	NMP 100 mL	
		Huevos de helminto	h/L	
		Cianuros totales	mg/L	
		Metales pesados*		
NOM-002-SEMARNAT-1996	Descargas de aguas residuales al alcantarillado	Temperatura	°C	- El rango permisible de pH es de 5.5 a 10 unidades y de temperatura 40°C -La frecuencia de muestreo depende de las horas/día del proceso -La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga -Las fechas límite de cumplimiento de la norma dependen de la población -Los métodos de prueba se indican en la sección 2 <i>Referencias</i> de la norma
		Potencial hidrógeno	pH	
		Grasas y aceites	mg/L	
		S. sedimentables		
		S. suspendidos totales		
		DBO ₅		
		Cianuro total		
		Metales pesados*		
NOM-003-SEMARNAT-1997	Aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público	Grasas y aceites	mg/L	-El LMP de los contaminantes patógenos y parasitarios, así como de los contaminantes básicos, con excepción de la materia flotante que debe estar ausente, dependen del tipo de reúso -Los LMP para metales pesados y cianuros corresponden a los establecidos para embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola (Tabla 3 de la NOM-001-SEMARNAT-1996) -Los métodos de prueba se indican en la sección 2 <i>Referencias</i> de la norma
		Materia flotante	mg/L	
		DBO ₅	mg/L	
		S. suspendidos totales	mg/L	
		Coliformes fecales	NMP 100 mL	
		Huevos de helminto	h/L	
		Cianuros	mg/L	
		Metales pesados*		

* Metales pesados: Arsénico, cadmio, cobre, cromo (sólo hexavalente en la NOM-002), mercurio, níquel, plomo y zinc

En México, el organismo regulador, puede establecer para cada caso, los contaminantes o parámetros a monitorear, así como sus LMP para cada empresa o planta a pesar de los listados en las 3 normas anteriores.

El organismo regulador en caso de descargas en aguas y bienes nacionales es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y para la transferencia al alcantarillado pueden ser organismos estatales o municipales. Los detalles de cómo se hace el llenado de cada reporte solicitado (excepto por el presente) se tratan en otros documentos emitidos por la SEMARNAT y autoridades locales.

ANEXO V

CONVERSIÓN DE UNIDADES

En los siguientes recuadros se presentan equivalencias de las unidades que aparecen en la Cédula de Operación Anual.

Recuadro 88. Equivalencia de unidades de masa que aparecen en la Cédula de Operación Anual

Unidad a convertir	Factor de conversión correspondiente				
	Gramo	Miligramo	Kilogramo	Tonelada ²	Libra
Gramo ¹ (g)	1	1 000	0.001	10 ⁻⁶	0.0022
Miligramo (mg)	0.001	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	0.0000022
Kilogramo (Kg)	1 000	1 000 000	1	0.001	2.2046
Tonelada ² (ton)	1 000 000	1 000 000 000	1 000	1	2204.621
Libra (lb)	453.5927	453592	0.4536	0.000454	1

1) Otros múltiplos del gramo: Gigagramo = 10⁹ g; Teragramo = 10¹² g

2) Tonelada métrica

Recuadro 89. Equivalencia de unidades de volumen que aparecen en la Cédula de Operación Anual

Unidad a convertir	Factor de conversión correspondiente				
	Litro	Metro cúbico	Pies cúbicos*	Galón*	Barril*
Litro (L)	1	0.001	0.0353	0.2642	0.0061
Metro cúbico (m ³)	1000	1	35.3147	264.1722	6.2898
Pies cúbicos* (ft ³)	28.3168	0.2830	1	7.4805	0.1781
Galón* (gal)	3.7854	0.0038	0.1337	1	0.0238
Barril* (brr)	158.9872	0.1590	5.6146	42	1

* Medidas de acuerdo al USCS (por sus siglas en inglés, *United States Customary System Units*)

Múltiplos:

Decámetro cúbico: dam³ = 10³ m³

Kilometro cúbico: km³ = 10⁹ m³

Miles de metros cúbicos: Mm³ = 10³ m³

Millones de metros cúbicos: MMm³ = 10⁹ m³

Miles de pies cúbicos (MPC) = 10³ f³

Millones de pies cúbicos (MMPC) = 10⁶ f³

Miles de barriles (MB) = 10³ brr

Millones de barriles (MMB) = 10⁶ brr

Recuadro 90. Equivalencia de unidades de energía que aparecen en la Cédula de Operación Anual

Unidad a convertir	Factor de conversión correspondiente			
	Joule	Mega joule	Kilowatt-hora	Megawatt-hora
Joule (J)	1	0.000001	2.7778X10 ⁻⁷	2.7778X10 ⁻¹⁰
Mega joule (MJ)	1 000 000	1	0.2778	0.0002778
Kilowatt-hora (KWh)	3 600 000	3.6	1	0.001
Megawatt-hora (MWh)	3 600	0.0036	1 000	1

Recuadro 91. Equivalencia de unidades de potencia que aparecen en la Cédula de Operación Anual

Unidad a convertir	Factor de conversión correspondiente		
	Watt	Kilowatt	Megawatt
Watt (W)	1	0.001	0.000001
Kilowatt (KW)	1 000	1	0.001
Megawatt (MW)	1 000 000	1 000	1

Recuadro 92. Equivalencias de unidades utilizadas en la NOM-085-SEMARNAT 2011

Unidad o parámetro		=
MJ	Megajoule	10 ⁶ J
GJ	Gigajoule	1 000 MJ
MJ	Megajoule	239 kcal
MJ	Megajoule	0,277 kWh
cal	Caloría	4,187 J
kWh	kilowatt hora	3,6 MJ
MJ/h	Megajoule/hora	948,4127 Btu
Btu	Unidad Térmica Británica	0,252 kcal
CC	Caballo caldera	35,3 MJ/h
CC	Caballo caldera	9,8055 kWh
Atm	Atmósfera (760 mmHg)	101 325 pascal (Pa)
lb/MBtu	libra por millón de Btu	429 g/GJ
1 ppm	de SO ₂ (bióxido de azufre, a 25°C y 1 Atm)	2,62 mg/m ³
1 ppm	de NO _x (óxidos de nitrógeno, a 25°C y 1 Atm)	1,88 mg/m ³
1 ppm	de CO (monóxido de carbono, a 25°C y 1 Atm)	1,14 mg/m ³

ANEXO VI

MODELO SUGERIDO DE BITÁCORA DE RESIDUOS PELIGROSOS

El trámite de *Bitácoras de generación de residuos peligrosos* (SEMARNAT-07-027-A), es un trámite de conservación, es decir, aunque no se presenta en la SEMARNAT, el interesado debe de conservar la información en su poder conforme lo establece el artículo 75 del Reglamento de la LGPGIR. A continuación se presenta un ejemplo de bitácora, conforme lo establece el artículo 71 del Reglamento de la LGPGIR. El presente modelo es únicamente ilustrativo y no restrictivo.

Recuadro 93. Campos de la bitácora sugerida para residuos peligrosos

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE MATERIALES Y ACTIVIDADES RIESGOSAS																	
BITÁCORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS																	
Generación											Almacena- miento temporal		Manejo				
Nombre del residuo peligroso	Cantidad generada (Ton)	Características de peligrosidad del residuo-Código de peligrosidad de los residuos (CPR)										Área o proceso de generación	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Fase de manejo siguiente a la salida del almacén	Prestador de servicio	
		C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M					Nombre, denominación o razón social	Número de autorización
Total		Nombre del responsable técnico de la bitácora															

Se debe considerar que la bitácora puede ser un documento manuscrito (siempre que la información sea legible) o electrónico. Además, la información contenida en la bitácora debe ser fidedigna y se asentará para cada entrada y salida del almacén temporal dentro del periodo comprendido de enero a diciembre de cada año.

ANEXO VII

LISTADO DE SUSTANCIAS SUJETAS A REPORTE DE COMPETENCIA FEDERAL PARA EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES SEGÚN LA NOM-165 SEMARNAT 2013

Sustancia	No. CAS	Umbrales de reporte de fabricación, proceso o uso (kg/año)	Umbrales de reporte de emisión (kg/año)
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	2 500	1 000
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	5 000	1 000
1,1,2-Tricloro-1,2,2-Trifluoreto (CFC-113)	76-13-1	2 500	1 000
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	5 000	1 000
1,1-Dicloro-1-Fluoreto (HCFC-141b)	1717-00-6	5 000	1 000
1,2-Diclorobenceno	95-50-1	5 000	1 000
1,2-Dicloroetano	107-06-2	5 000	1 000
1,3-Dicloro-1,1,2,2,3-Pentafluoropropano (HCFC-225cb)	507-55-1	2 500	1 000
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	5 000	1 000
1-Cloro-1,1-Difluoreto (HCFC-142b)	75-68-3	5 000	1 000
2,2-Dicloro-1,1,1-Trifluoreto (HCFC-123)	306-83-2	5 000	1 000
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	5 000	1 000
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	2 500	1 000
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2 500	1 000
2,4-Dinitrotolueno	121-14-2	5 000	1 000
2-Cloro-1,1,2,2-Tetrafluoreto (HCFC-124)	2837-89-0	5 000	1 000
2-Etoxietanol (Ter Monoetilico del Etilenglicol)	110-80-5	2 500	100
2-Nitropropano	79-46-9	2 500	100
3,3-Dicloro-1,1,1,2,2-Pentafluoropropano (HCFC-225ca)	422-56-0	2 500	1 000
4,6 Dinitro-O-cresol	534-52-1	2 500	100
4-Amino difenilo	92-67-1	2 500	1 000
4-Nitrodifenilo	92-93-3	2 500	1 000
9-Clorotrifluorometano (CFC-13)	75-72-9	5 000	1 000
Acetaldehído	75-07-0	2 500	100
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	94-75-7	2 500	100
Ácido sulfhídrico	7783-06-4	5 000	1 000
Acrilamida	79-06-1	2 500	100
Acrlonitrilo	107-13-1	2 500	100
Acroleína	107-02-8	2 500	100
Aldrin	309-00-2	50	100
Anilina	62-53-3	5 000	1 000
Arsénico	7440-38-2	5	1
Arsénico (compuestos)	S/C1	5	1
Asbesto	1332-21-4	5	1
Benceno	71-43-2	5 000	1 000
Bencidina	92-87-5	5 000	1 000
Beta-naftalina	91-59-8	50	100
Bifenilo	92-52-4	5 000	1 000
Bifenilos policlorados	1336-36-3	5	Cualquier cantidad

Sustancia	No. CAS	Umbral de reporte de fabricación, proceso o uso (kg/año)	Umbral de reporte de emisión (kg/año)
Bióxido de carbono	124-38-9	NA	100 000
Bióxido de nitrógeno	10102-44-0	NA	100 000
Bromoclorodifluorometano (Halón 1211)	353-59-3	5 000	1 000
Bromoformo	75-25-2	2 500	1 000
Bromotrifluorometano (Halón 1301)	75-63-8	5 000	1 000
Bromuro de Metilo	74-83-9	5 000	1 000
Butadieno (1,3 Butadieno)	106-99-0	5 000	100
Cadmio	7440-43-9	5	1
Cadmio (compuestos)	S/C2	5	1
Cianuro inorgánicos/orgánicos	57-12-5	5 000	100
Clordano	57-74-9	5	100
Clorobenceno (monoclorobenceno)	108-90-7	5 000	1 000
Clorodifluorometano (HCFC-22)	75-45-6	5 000	1 000
Cloroformo	67-66-3	5 000	1 000
Clorometano	74-87-3	5 000	1 000
Cloropentafluoroetano (CFC-115)	76-15-3	5 000	1 000
Cloruro de Metileno	75-09-2	5 000	1 000
Cloruro de Vinilo	75-01-4	5 000	1 000
Cromo (compuestos)	S/C3	5	1
DDT	50-29-3	5	100
Dibutilftalato	84-74-2	5 000	100
Diclorodifluorometano (CFC-12)	75-71-8	5 000	1 000
Diclorotetrafluoroetano (CFC-114)	76-14-2	5 000	1 000
Dieldrin	60-57-1	5	100
Dioxano (1,4 dioxano)	123-91-1	5 000	100
Dióxido de cloro	10049-04-4	5 000	100
Endosulfan	115-29-7	5	100
Endrin	72-02-8	5	100
Epiclorohidrina	106-89-8	5 000	1 000
Estireno (Fenil etileno)	100-42-5	5 000	1 000
Eter bis-cloro metílico	542-88-1	2 500	1 000
Fenol	108-95-2	5 000	1 000
Formaldehído	50-00-0	5 000	100
Heptacloro	76-44-8	5	100
Hexacloro-1,3-butadieno	87-68-3	2 500	1 000
Hexaclorobenceno	118-74-1	5	1 000
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4	5 000	1 000
Hexacloroetano	67-72-1	5 000	1 000
Hexafluoruro de azufre	2551-62-4	5 000	Cualquier cantidad
Hidracina	302-01-2	5 000	100
Hidrobromofluorocarbonos (HBFC)	S/C7	100	1 000
Hidrofluorocarbonos	S/C8	100	1 000
Lindano (HCH)	58-89-9	5	100
Mercurio	7439-97-6	5	1
Mercurio (compuestos)	S/C4	5	1
Metano	74-82-8	NA	100 000
Metil paration	298-00-0	5	100
Metoxicloro	72-43-5	50	100

Sustancia	No. CAS	Umbrales de reporte de fabricación, proceso o uso (kg/año)	Umbrales de reporte de emisión (kg/año)
Mirex	2385-85-5	5	100
Níquel (compuestos)	S/C5	5	1
Nitrosodimetilamina	62-75-9	2 500	100
Óxido nitroso	10024-97-2	NA	100 000
Pentaclorofenol	87-86-5	2 500	1 000
Perfluorocarbonos	S/C9	100	1 000
Piridina	110-86-1	5 000	1 000
Plomo (compuestos)	S/C6	5	1
Tetracloruro de carbono	56-23-5	5 000	1 000
Toluen diisocianato	26471-62-5	5 000	1 000
Toxafeno	8001-35-2	5	100
Tricloro benceno	120-82-1	5 000	1 000
Tricloroetileno	79-01-6	5 000	1 000
Triclorofluoroetano (CFC-11)	75-69-4	5 000	1 000
Warfarina	81-81-2	5	100
Dioxinas	S/C10	Cualquier cantidad	Cualquier cantidad
Furanos	S/C11	Cualquier cantidad	Cualquier cantidad

Nota 1: Son 93 sustancias RETC del antiguo acuerdo, más el Ni, Cr y Pb que se incluían como compuestos de Ni, Cr y Pb, por lo que totalizan 96 más 104 nuevas sustancias RETC

Nota 2: Las siguientes 11 sustancias, presentes en el acuerdo secretarial, no lo están en la NOM-165 SEMARNAT 2013: 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,2-Tricloro-1,2,2-Trifluoroetano (CFC-113), 9-Clorotrifluorometano (CFC-13), Bromoclorodifluorometano (Halón 1211), Bromotrifluorometano (Halón 1301), Cloropentafluoroetano (CFC-115), Diclorodifluorometano (CFC-12), Diclorotetrafluoroetano (CFC-114), Hidrobromofluorocarbonos (HBFC), Tetracloruro de carbono, Triclorofluoroetano (CFC-11)

Nota 3: En el listado anterior de sustancias RETC, el HCN se incluía en los "cianuros"

Nota 4: En el listado anterior de sustancias RETC, el $K_2Cr_2O_7$ se incluía en "cromo y sus compuestos"

Nota 5: En el antiguo acuerdo las dioxinas y furanos están juntos en una sola categoría, ahora son dos

Nota 6: El cero "0" indica que se debe reportar desde cualquier cantidad

Bibliografía

- AHMSA. 2010.** *Proceso de producción de acero.* s.l. : AHMSA, 2010.
- . **2012.** *Video "como se hace el acero".* s.l. : AHMSA, 2012.
- AIMMPE. 1986.** *Minas Mexicanas.* México D.F. : American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1986.
- Angel, Miguel. 2004.** *Aleaciones de Fe y C, Aceros y Fundiciones.* s.l. : Ciencia de materiales. 4to curso, 2004.
- ARAP. 2010.** *Principios para el uso responsable de los CFC, sustitutos y alternativas para aplicaciones industriales.* s.l. : EPA (USA), PNUMA (UN), METI (Japón) & The alliance for responsible atmospheric policy, 2010.
- Ashby, Michael F. y Jones, & David R. H. 1992.** *Engineering Materials 2 (with corrections ed).* Oxford : Pergamon Press, 1992.
- ATSDR. 2007.** Resumen de salud pública. Acroleína. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA.* [En línea] 08 de 2007. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs124.html.
- Avener, S.H. 1989.** *Introduction to Physical Metallurgy.* Sydney : McGraw Hill, 1989.
- Bagur, Ramón. 2002.** *Procesos de manufactura.* México D.F. : Curso universitario de ingeniería metalúrgica, Universidad la Salle, 2002.
- BREF. 2006.** *Documento de Referencia de la Mejores Técnicas Disponibles de la Industria de Metalurgia Ferrea (esp).* s.l. : Unión Europea, 2006.
- . **2005.** *Documento de Referencia de la Mejores Técnicas Disponibles en de la Industria de Metales no Ferrosos (esp).* s.l. : Unión Europea, 2005.
- . **2009.** *Reference Document of Best Available Techniques for the Management of Tailings and Waste Rock Mining Activities.* s.l. : European Union, 2009.
- . **2001b.** *Reference document of Best Available Techniques in the Ferrous Metal Processing Industry.* s.l. : European Union, 2001b.
- . **2001a.** *Reference document of best available techniques on the production of iron & steel.* s.l. : Unión Europea, 2001a.
- . **2001c.** *Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries.* s.l. : European Union, 2001c.
- Calveras, Oriol Passola. 2006.** Modelo de inventario de emisiones industriales de España 2004. *Anexo A. Descripción de contaminantes.* [En línea] 06 de 2006. upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2956/2/54309-3.pdf.
- Castro, Sergio. 2003.** *Flotación, Fundamentos y Aplicaciones.* s.l. : Universidad de Concepción, 2003.
- CNMA. 1998.** *Guía para la prevención de la contaminación industrial, Industria elaboradora de pinturas.* Santiago : Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile., 1998.
- Coz, Alberto. 2001.** *Comportamiento ambiental de lodos de fundición estabilizados/solidificados.* s.l. : Tesis doctoral, Escuela técnica superior de ingenieros, Universidad de Cantabria, 2001.
- CRC. 2011.** Corte por agua. *Corte Robotizado Catalunya.* [En línea] 2011. [Citado el: 5 de 3 de 2011.] <http://www.crcsa.com/agua.asp>.
- Drweld. 2006.** Procesos de corte de metales. *Dr Weld.* [En línea] 2006. [Citado el: 7 de 3 de 2011.] <http://www.drweld.com/files/oxyfuel.pdf>.
- EC Sinter. 1995.** *Technical Note on Best Available Techniques to Reduce Emission of*

Pollutants into Air. s.l. : s.e., 1995.

Eusko Jaurlaritzia. 2006. Guías técnicas para la estimación, medición y cálculo de las emisiones al aire. Sector6. Fundacion Ferrea. *Departamento del medio ambiente, planificación territorial y pesca*. [En línea] 2006. [Citado el: 30 de 12 de 2010.] <http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-home/es/>.

FUNDES. 2003c. *Fundación para el desarrollo sostenible, Guia para la producción más limpia en el sector de galvanotécnia*. Bogotá : Gobierno de Colombia, 2003c.

González, M.R. 2009. *Tesis doctoral "Estudio sobre los mecanismos de reacción ocurridos en el drenaje ácido, en minas de sulfuros"*. Méxcio D.F. : UNAM, 2009.

Government of Japan. 2005. *Report on Dioxin Reduction Technologies and their Effects*. s.l. : Ministry of Economy, Trade and Industry, 2005.

GTZ. 1996. Asbestos, Overview and Handling Recommendations. *Deutschen Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (Sociedad Alemana de cooperación técnica)*. [En línea] 1996. [Citado el: 7 de 2 de 2011.] http://www.cd3wd.com/CD3WD_40/CD3WD/CONSTRUC/G51ASE/EN/B48_6.HTM#B48_6_1.

Hustrulid. 1982. *Mining Operations & Studies*. s.l. : European Union, 1982.

INE-SEMARNAT. 2005. Sistema de publicaciones del INE. *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. [En línea] 05 de 2005. www.ine.gob.mx/publicaciones/download/457.pdf.

Interempresas. 2003. Descripción de los procesos de tratamiento de superficies. *Interempresas.net, La plataforma multimedia de la industria*. [En línea] 2003. [Citado el: 22 de 12 de 2010.] <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8513-Descripcion-de-los-procesos-de-tratamiento-de-superficies.html?R=8509>.

— **2007.** Introducción a los tratamientos Térmicos. *Interempresas.net, La plataforma multimedia de la industria*. [En línea] 2007. <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/Articulo.asp?A=2506>.

IPCC. 2003. *Balance Nacional de Energía y Factores de Emisión*. s.l. : IPCC, 2003.

K. Adam. 2002. *Closure plan for a pyrite concentrate stockpile*. s.l. : s.e., 2002.

Kreulitsch, H. 1994. *Iron and Steelmaking in the future*. s.l. : Iron and Steelmaking Int., 1994.

Kucher, A. 1989. *Tecnología de metales*. Moscú : Mir, traductor Ing B.A. Mirchevski, 1989. 5-03-000083.

Matzke, U.D. 1987. *Blei-, Zink- und Alkalientfernung beim Sintern von Reicherzmischungen (Remoción de Pb, Zn y alcalis durante el sinterizado de mezclas de menas ricas)*. Aachen : s.n., 1987.

Millan Gomez, Simón. 2006. *Procedimientos de Maquinado*. Madrid : Paraninfo, 2006.

MineralGallery. 2002. Mineral information . [En línea] 2002. <http://mineral.galleries.com>.

Nagai. 1995. *Sources of Iron Beyond 2000*. s.l. : Steel Times International (EAF Supplement), 1995.

NPI. 2008. Emission estimation technique manual for combustion engines. *National Pollutant Inventory Australian Government, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts*. [En línea] 06 de 2008. <http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/pubs/combustion-engines.pdf>.

- Ojeda, Luis. 2008.** *Modelo matemático de un reactor anaerobio con bacterias sulfatorreductoras para el tratamiento del efluente del proceso de flotación de una planta minera.* Mexico D.F. : Tesis de maestría en I.Q., UNAM, 2008.
- Pacheco, Luis. 2006.** *Propuesta de reaprovechamiento integral de agua de un proceso de una empresa minera utilizando sistemas biológicos anaeróbios.* México D.F. : Tesis de maestría en I.Q., UNAM, 2006.
- Pazdej, R. 1995.** *Treatment of BF gas and BOF dust and sludges.* Praha : Symposium on Environmental Control in Steel Industry, 1995.
- PNUMA. 2005.** *Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos v2.1.* s.l. : PNUMA división TIE dentro del marco del IOMC, 2005.
- Proesmin. 2006.** Manual de Operaciones Mineras. Desarrollo de la intranet con información minero energética de la institución. [En línea] 2006. [Citado el: 28 de 12 de 2010.] www.estudiosmineros.com/index.php?option=com_content&view=article&id=22874:p72&catid=17:proyectos&itemid50.
- Rentz. 1997.** *Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry.* s.l. : French-German Institute for Environmental Research, D-Karlsruhe, 1997.
- Roederer, C. Gourtsoyannis, L. 1996.** *Coordinated Steel environment study.* s.l. : EC Study, 1996.
- SEMARNAT. 2010c.** *Instrumentos Jurídicos del RETC.* México D.F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010c.
- . **2007.** *Manual para la evaluación técnica y normativa de la LAU.* México D.F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007.
- Suárez. 2010.** La contaminación en la industria de la fundición. *Monografías.com.* [En línea] 2010. [Citado el: 31 de 12 de 2010.] <http://www.monografias.com/trabajos29/contaminacion-fundicion>.
- SULFINUZ. 2011.** Tratamientos Termoquímicos. *Sulfinización.* [En línea] 9 de 2011. http://www.sulfinuzargentina.com.ar/sulfinizacion_proceso.htm.
- TWG for I&S. 1998.** *Technical Working Group for iron & steel production.* s.l. : European Union, 1998.
- UBA. 1997.** *Notas técnicas de la Agencia de Protección Ambiental Alemana sobre las MTD en la Industria Siderúrgica (204).* s.l. : s.e., 1997.
- Ullmann. 1994.** *Enciclopedia de la Industria Química, volumen 14 "Hierro".* s.l. : VCH, 1994.
- USEPA. 1982.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 11.24 Metallic minerals processing.* Washington D.C. : US government printing office, 1982.
- . **1998c.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 11.9 Wester surface coal mining.* Washington D.C. : US government printing office, 1998c.
- . **1998a.** *AP-42 Emission Factor Documentation for section 12.1 Primary aluminum production.* Washington D.C. : US Government printing office, 1998a.
- . **2003.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.10 Grey iron foundries.* Washigton D.C. : US government printing office, 2003.
- . **1995c.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.13 Steel Foundries.* Washington D.C. : US government printing office, 1995c.
- . **1995d.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.19 Electric welding.*

- Washington D.C. : US government printing office, 1995d.
- **1986d.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.5 Ferroalloy production.* Washington D.C. : US government printing office, 1986d.
 - **1986c.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.5 Iron & Steel production.* Washington D.C. : US government printing office, 1986c.
 - **1986a.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.8 Secondary aluminum operations (background document).* Washington D.C. : US Government printing office, 1986a.
 - **1986b.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 12.8 Secondary aluminium operations.* Washington D.C. : US government printing office, 1986b.
 - **1998b.** *AP-42 Emission Factor Documentation for section 4.3 Waste Water collection, treatment and storage.* Washington : US government printing office, 1998b.
 - **1981.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 4.6 Solvent degreasing.* Washington D.C. : US government printing office, 1981.
 - **1980.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 4.7 Waste solvent reclamation.* Washington D.C. : US government printing office, 1980.
 - **2006a.** *AP-42 Emission Factor Documentation for section 7.1 Volatile Liquid storage tanks emissions estimate.* Washington : US Government printing office, 2006a.
 - **1995b.** *Metal mining SNP, Profile of the metal mining industry.* Washington : US Government printing office, 1995b.
 - **1995.** *Protocol for Equipment Leaks Emission Estimates, EPA-453/R95-017.* Washington : US Government printing office, 1995.
 - **1994.** *Reference document for Pb-Zn ores extraction.* Washington D.C. : US Government printing office, 1994.
 - **2005.** *SPECIATE Data Browse: SPECIATE 4.2. Gas Profile Table:External Combustion Boiler - Natural Gas.* [En línea] 05 de 2005. <http://cfpub.epa.gov/si/speciate/>.
 - **2008b.** *Speciate Data Browser. PM Profile table:steel electric arc furnace.* [En línea] Environmental Protection Agency, United States, 11 de 2008b. <http://cfpub.epa.gov/si/speciate/>.
 - **2012.** *WebFIRE service of emission factor compilation.* s.l. : USEPA WebFIRE, 2012.
- Vega, A. 1999.** *Minería y medio ambiente,* Ministerio de Educacion. [En línea] 1999. <http://www.mineduc.cl/biblio/documento/LibroMineria.pdf>.
- Volke, Sepúlveda Tania y Trejo, Juan Antonio Velasco y Pérez, David A. de la Rosa. 2005.** *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Libros y publicaciones.* [En línea] 2005. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/459/cap2.html>.
- Wills, B.A. 1994.** *Tecnología de procesamiento de minerales: Tratamiento de menas y recuperacion de minerales.* Mexico D.F. : Limusa, 1994.
- Wotruba. 2002.** *Mineral processing units.* s.l. : Institute of mineral processing, 2002.
- WRI. 2005.** *Calculation tool for direct emissions of stationary combustion. Calculation worksheets.* July 2005. Version 3.0. s.l. : WRI y WBCSD, 2005.
- Zinkgruvan. 2003.** *Study of Euromines. Chapter 4 .* s.l. : European Union, 2003.