



SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA CÉDULA DE OPERACIÓN ANUAL

Industria del Asbesto

Subsectores

- CA-79. Producción de asbesto cemento y sus productos
- CA-LN. Fabricación de ropa para protección de fuego y calor
- CA-LM. Autopartes para transportes fabricadas con asbesto
- CA-LP. Otros productos en donde se use pasta de asbesto para su elaboración

CONTENIDO

Introducción	4
Identificación de los Sujetos Obligados a Presentar la COA y partes de ésta a capturar	7
Datos de Registro	12
Industria del Asbesto	17
Información Técnica General	44
Registro de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera	58
Registro de Descargas (emisiones) a Cuerpos de Agua y Transferencias de Contaminantes en el Agua	99
Registro de la Generación, Manejo y Transferencia de Residuos Peligrosos	109
Emisión y Transferencia de Contaminantes	121
Anexo I. Factores de Emisión del Sector	145
Anexo II. Factores de Emisión de Combustión	149
Anexo III. Resumen de la Generación de Contaminantes en el Sector de Asbesto	183
Anexo IV. Regulación y Normas Aplicables	196
Anexo V. Conversión de Unidades	198
Anexo VI. Modelo Sugerido de Bitácora de Residuos Peligrosos	200
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	201
Bibliografía	207

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.

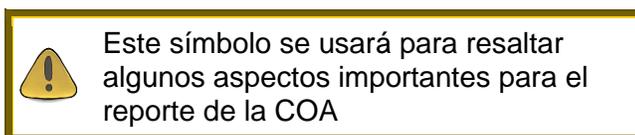
La plataforma Web de la COA, entre otros detalles, es ahora solo vía Web, siendo un trámite 100% digital y a través de internet (registro, captura y presentación), la aplicación, identifica y notifica al usuario las obligaciones y tablas a reportar; utiliza la firma electrónica del SAT para validar el 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 del Asbesto**.
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 está 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 más 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			LGPGIR	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			LGPGIR	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 4 subsectores correspondientes al sector de Industria del Asbesto, 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, 2.3, 3.1, 3.2, 3.4, 4.1, 4.2
- 2.- **Opcionales:** 1.1.2, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.3, 2.2, 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.

INDUSTRIA DEL ASBESTO

En el presente documento, se muestran las características principales de la industria del asbesto, empezando con una descripción breve de lo que son estos materiales, su clasificación, lugares de extracción en el mundo, sus propiedades principales y sus usos.

Posteriormente se habla del proceso de extracción de los asbestos en general a partir de la información encontrada en las fuentes citadas en el texto, básicamente es una operación de minería con una planta de beneficio que consta de una serie de operaciones mecánicas de transporte y separación y clasificación de las fibras por su tamaño, ya que esta característica es una de las que se consideran para determinar la calidad del material a usar en diversas aplicaciones.

Después se habla de los procesos involucrados en la elaboración de productos de asbesto cemento y que corresponden al subsector "79", el asbesto es usado para hacer cementos especiales que presentan propiedades muy útiles para la construcción en general y en particular para ciertas aplicaciones, sobre todo industriales, proporcionando una mayor resistencia al medio ambiente y al fuego entre otras.

Para el subsector "LN" se describe la elaboración de hilos de asbestos que se utilizan, junto con otros materiales sintéticos, para hacer telas y confeccionar ropa que ofrece protección contra fuego otras características y propiedades apreciadas actualmente. Otra aplicación importante de estos hilos de asbesto (junto con otros materiales, según se trate), es la elaboración de piezas sometidas a esfuerzos de fricción constantes, muy usadas en la industria metal mecánica como la automotriz y que se engloban en el subsector "LM", además, también se usan las fibras mismas en la elaboración de pastas a base de resinas y otros materiales para luego moldear la pieza.

Para el subsector "LP" en el que se incluyen otros productos de asbesto, no se incluyó tal cual ya que la SEMARNAT no cuenta por el momento con información al respecto, al menos no se sabe de algún otro producto que no se encuentre dentro de los subsectores antes mencionados o en algún otro sector industrial.

Ya que a lo largo de los procesos descritos, se tienen equipos de combustión en donde los gases producidos dependen (principalmente) del combustible usado, en el anexo III de esta guía se muestra una recopilación de los contaminantes característicos producidos según éste, de acuerdo con la base de datos SPECIATE 4.2 de la EPA, cuándo en el texto se haga la referencia "gases de combustión que dependen del combustible utilizado", la especiación de éstos se puede consultar en dicho anexo. En el anexo II se pueden consultar los factores de emisión del IPCC para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O).



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 del Asbesto del 2005 al 2008:

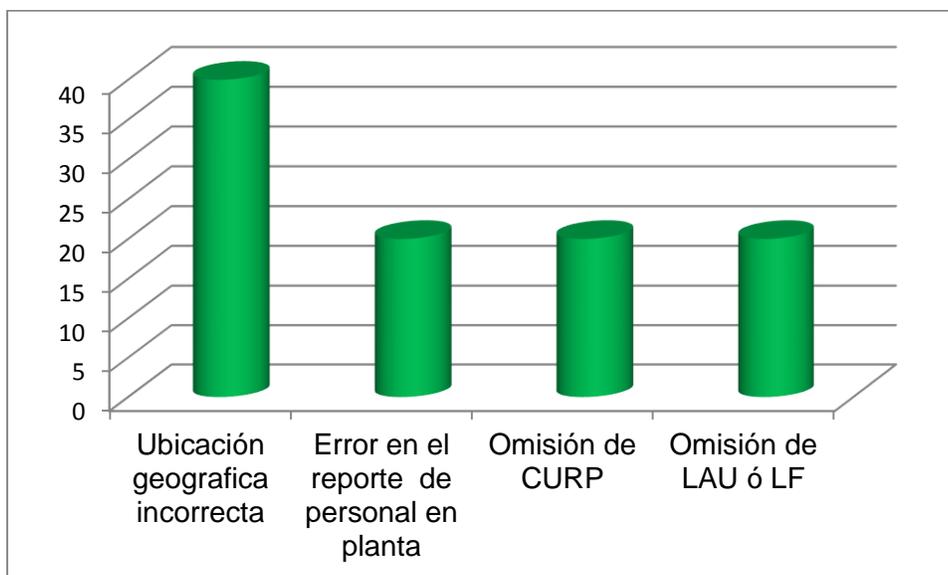


Figura 1. Errores más frecuentes en Datos de Registro de la COA (%)

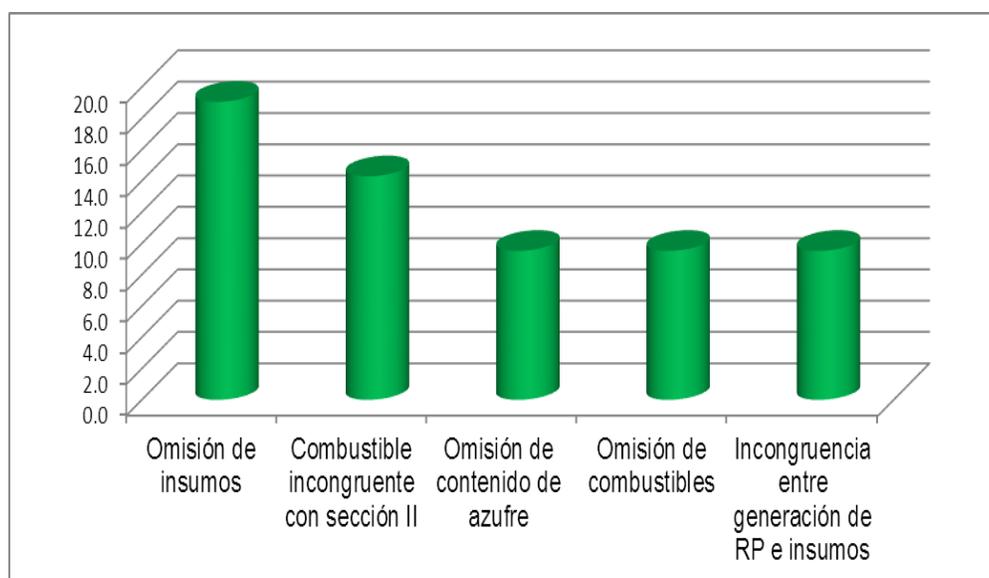


Figura 2. Errores más frecuentes en la Sección I de la COA (%)

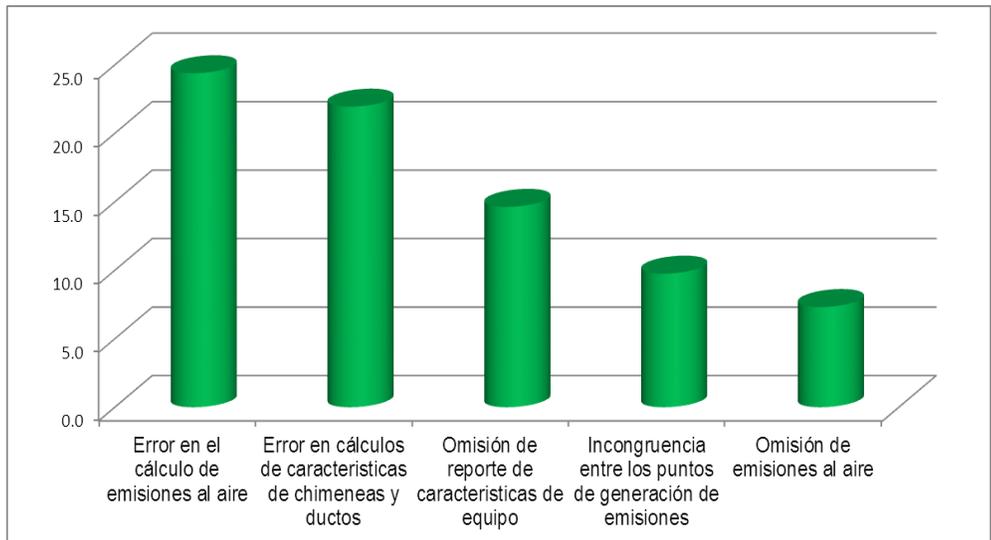


Figura 3. Errores más frecuentes en la Sección II de la COA (%)

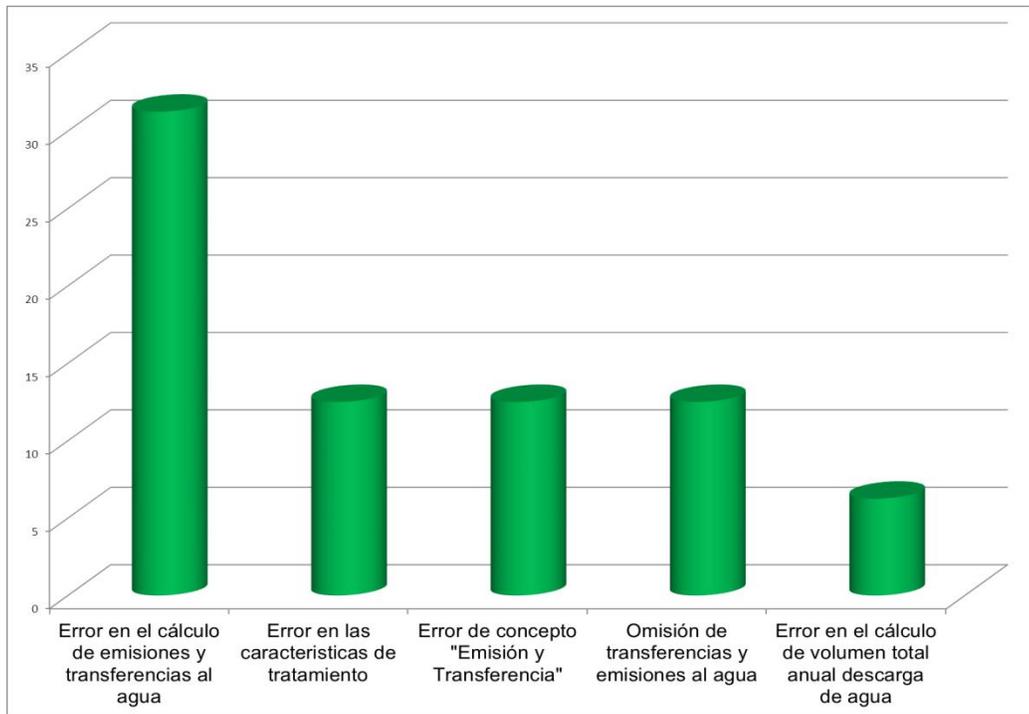


Figura 4. Errores más frecuentes en la Sección III de la COA (%)

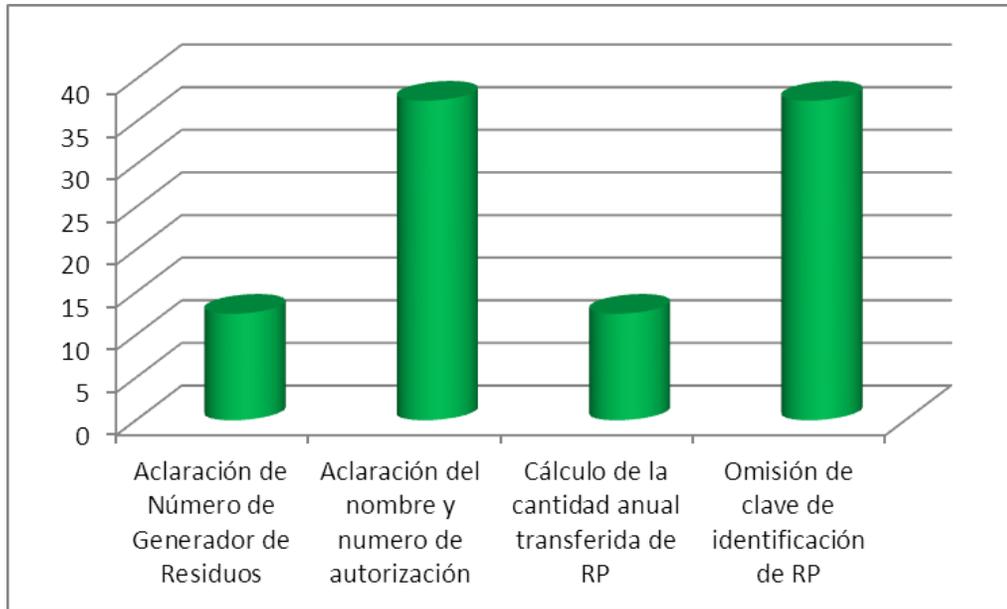


Figura 5. Errores más frecuentes en la Sección IV de la COA (%)

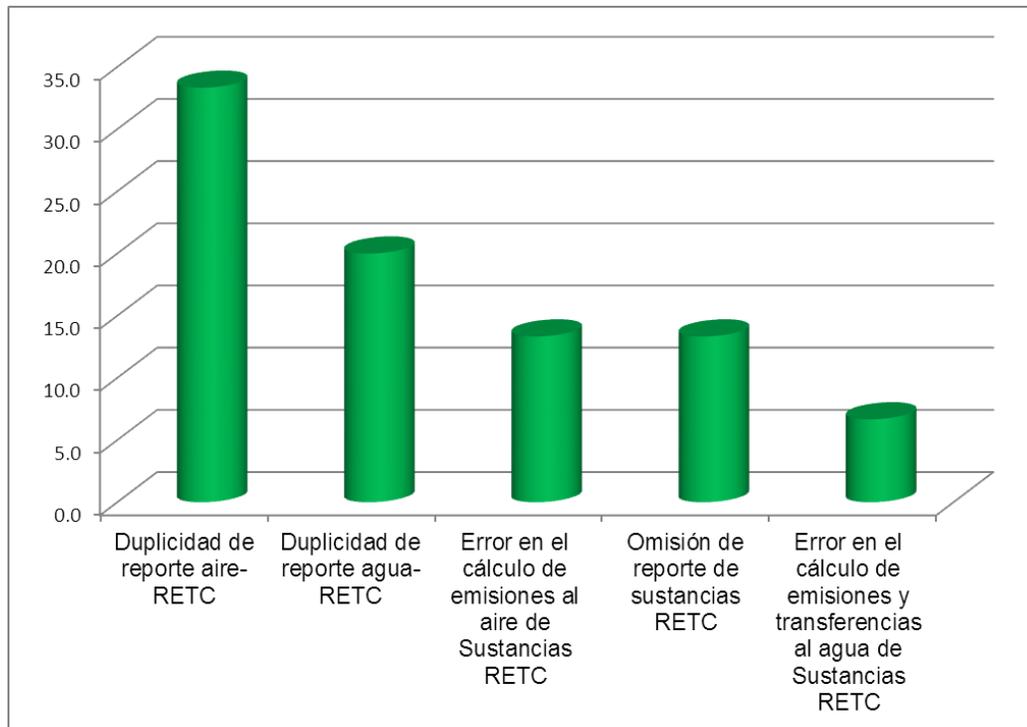


Figura 6. Errores más frecuentes en la Sección V de la COA (%)

Descripción General de los Procesos del Sector

LOS ASBESTOS

Los asbestos, pese a los problemas de salud que representan, no han desaparecido de la industria debido lo valiosas que son sus propiedades, los países productores, principalmente Canadá, se ha esforzado por promover técnicas, prácticas y procesos seguros de utilización.

Actualmente en México, estos materiales están prohibidos salvo para aquellas aplicaciones que no sean susceptibles de liberar fibras al usuario final, por eso es que se utilizan en la fabricación de cementos especiales, en la elaboración de autopartes que son sometidas a esfuerzos de fricción, ropa especial de protección contra fuego entre otros.

El término “asbestos” es uno colectivo que incluye a un grupo de minerales de silicato, aunque la Oficina de Minas de los Estados Unidos tiene catalogadas a más de 100 fibras minerales como “similares al asbesto”, solo se regulan en dicho país y en general en el mundo, a un grupo de 6 diferentes minerales, que son el crisotilo, amosita, crocidolita, antofilita, tremolita y actinolita, que se clasifican según su composición química (catión primario), su estructura cristalina y fibrosa (Asbestos.com, 2009).

En cuanto a su clasificación como fibra existen los de tipo “serpentina” que tienen una estructura de capas, mientras que los de tipo “anfíbol” la tienen del tipo cadena cristalina (GTZ, 1996).

Los asbestos “serpentinicos” o de hoja rizada, incluyen la antigorita y al crisotilo, que es el por mucho el más utilizado de ambos, éstos están constituidos de capas de silicato tetraédrico que se mantienen unidas por grupos hidroxilo y por iones de magnesio, el crisotilo o “asbesto blanco” forma fibras de muy pequeño diámetro, son tubulares, muy suaves y flexibles, cada fibrilla individual tiene un diámetro de 10 a 250 Å, se originan de la descomposición hidrotérmica de la roca “olivino”, particularmente por intemperismo severo como el que se da en climas tropicales y subtropicales (GTZ, 1996).

Actualmente hay minas de asbestos serpentinos en Canadá en las provincias de Quebec, Ontario, Columbia Británica y Nueva Foundland, en Sudáfrica las hay en Zimbabwe y cerca de Botswana y en la región de los montes Urales principalmente en Bazenovo, Asbest y Dzetygara, es el tipo de asbesto más utilizado en construcción, alrededor del 95% en volumen respecto al total de asbestos utilizados en construcción corresponde a este tipo (GTZ, 1996).

Los asbestos anfíboles tienen una estructura de cadena cristalina, que los hace inherentemente fibrosos, las fibras individuales son más grandes, rectas, firmes aunque con elasticidad, en esta clasificación se encuentran la amosita, crocidolita,

antofilita, tremolita y actinolita (GTZ, 1996).

La amosita o “asbesto café” presenta fibras largas que pueden alcanzar los 35nm, sus puntas son filosas o punzantes lo que las hace peligrosas, es el segundo tipo más utilizado en construcciones (alrededor del 1% en volumen respecto al total de asbestos utilizados en construcción) y es utilizado principalmente en la fabricación de placas ligeras a prueba de fuego, existen importantes centros mineros de este material en Sudáfrica (GTZ, 1996).

La crocidolita o “asbesto azul” es el más peligroso tipo, muy utilizado para la fabricación de tuberías de alta presión (más del 90% del asbesto azul se usa fabricarlos), económicamente es el más importante de los asbestos anfíboles, sus fibras son de 0.1 a 0.2mm, su superficie está formada por tetraedros de silicato (SiO_4), existen importantes depósitos en Sudáfrica y Australia del Oeste (GTZ, 1996).

La antofilita es una variedad rica en compuestos de hierro, se utiliza en productos que requieren de gran resistencia a ataques químicos y al calor, es de color blanco y quebradizo (Asbestos.com, 2009).

La tremolita, de color blanco y gredoso, se encuentra en pequeñas cantidades en otros tipos de asbesto, se utiliza en la manufactura de talcos (Asbestos.com, 2009).

En 1986, al asbesto se le catalogó como “cancerígeno” (incluye a las 6 variedades descritas en este trabajo) por la Organización Mundial de la Salud, en la Unión Europea se empezaron a prohibir sus usos desde 1991 (SEMARNAT, 2010).

En cuanto al volumen producido a nivel mundial, más del 90% corresponde al crisotilo, aproximadamente el 4% la crocidolita y el resto a la amosita, antofilita, tremolita y actinolita (GTZ, 1996).

Los asbestos, como material poseen una serie de propiedades y características muy apreciadas por la industria, entre las más notables están: la alta resistencia a la tensión, resistencia a la humedad, al calor, flexibilidad, elasticidad, no se queman, actúan como retardantes de flama en sus aplicaciones, resistencia química (en contra de ataques de ácidos y bases, varía según el material), capacidad de anclaje para diversos materiales orgánicos e inorgánicos, por lo anterior es que son utilizados en una gran cantidad de productos (GTZ, 1996), (INE, 1987).

Sus usos principales son en la industria de la construcción como tejidos, hilados e hilos ignífugos, guarniciones y juntas de fibra de amianto comprimido; agentes de refuerzo para caucho, plástico, cemento, planchas y paneles; papel, cartón para encuadernación y fieltro (SEMARNAT, 2010).

También se utilizan en tuberías y cañerías; filtros químicos y diafragmas, en materiales aislantes termo resistentes, recubrimientos para altos hornos y tuberías para líquidos calientes, como medio para material de relleno inerte (laboratorio y comercial), guantes y ropa ignífugos, fundas para zapatos de freno, base para

material de absorción, en la industria automotriz se utilizan para fabricar autopartes que van destinadas a soportar grandes esfuerzos por fricción (como balatas) entre otros (SEMARNAT, 2010).

Actualmente se han buscado y desarrollado algunos sustitutos por los problemas de salud que representan, adicionalmente, se han elaborado estudios en países como Canadá (productor y exportador) para favorecer un uso seguro y responsable de ellos (Crysotile Ins, 1998), (GTZ, 1996).

En México no se producen comercialmente ya que las minas existentes no proporcionan material con la calidad adecuada. El principal centro minero en México fue el de "Concepción Pápalo", ubicado en Oaxaca, éste operó hasta 1985 (SEMARNAT, 2010).

El asbesto utilizado en México se importa principalmente de Canadá, Brasil y Estados Unidos (INE, 1987). A partir de 1970, una gran cantidad de empresas en los Estados Unidos se trasladaron a México a raíz de que en ese país se empezaron a cerrar sus plantas debido a las demandas millonarias por daños a la salud (SEMARNAT, 2010).

EXTRACCIÓN DE LAS FIBRAS DE ASBESTO

Alrededor del 85% de estos materiales en el mundo, se extraen mediante la minería de a cielo abierto, en Canadá el 95% de la producción se obtiene por este método aunque en otros países como en Sudáfrica el 95% de su producción se obtiene principalmente por medio de la minería profunda y en China el 40% de la suya también, el contenido aproximado de asbesto en la roca madre es del 3 al 10% en masa (GTZ, 1996).

En el proceso de minería a cielo abierto, la roca madre (o roca cruda) es fragmentada y sometida a procesos de molienda para liberar las fibras, estas se separan del resto de los minerales mediante etapas sucesivas de cribado y tamizado (GTZ, 1996).

En la figura siguiente se muestra un esquema de la extracción a cielo abierto y proceso inicial de separación de las fibras.

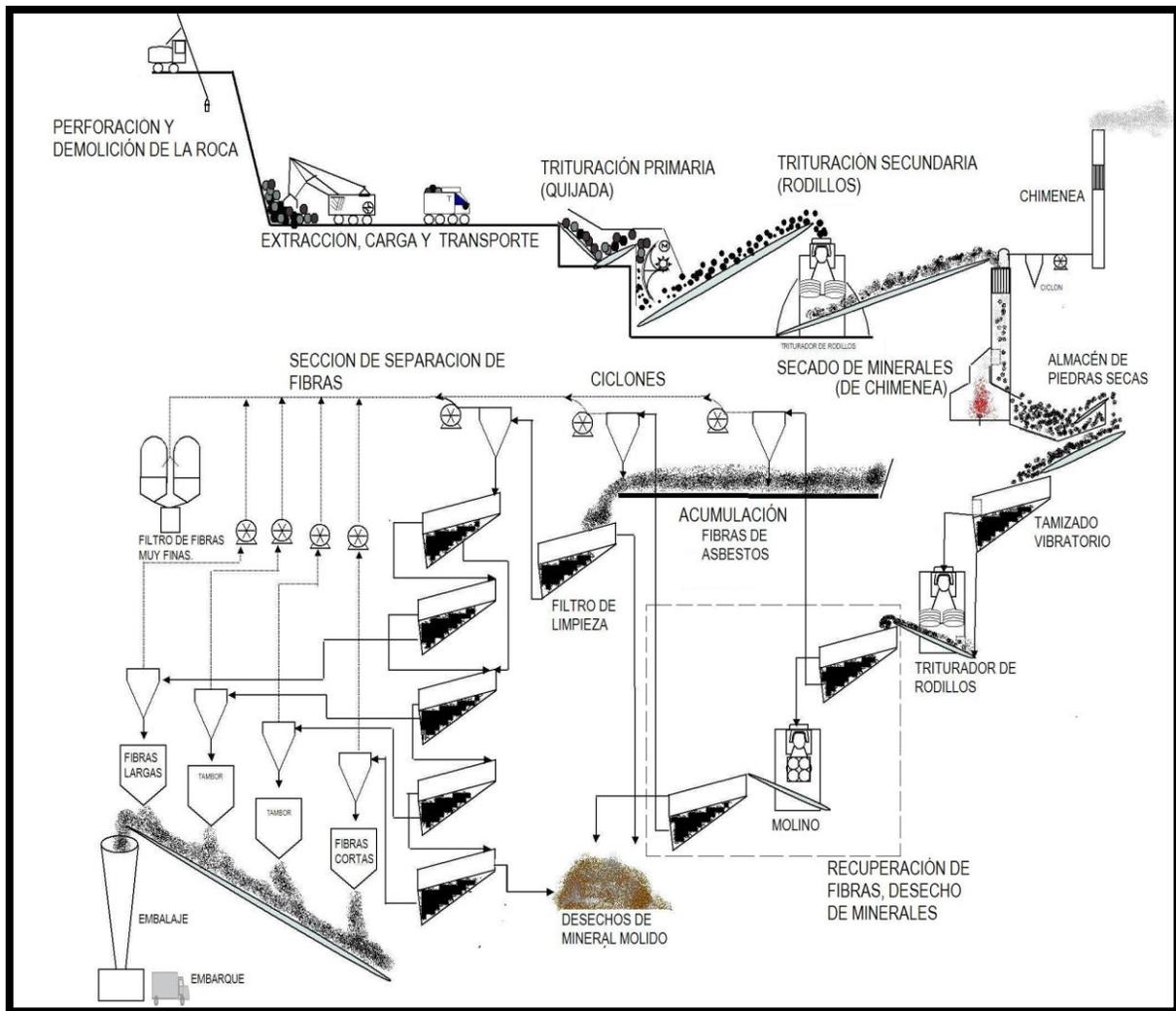


Figura 7. Esquema general del proceso de extracción y obtención de asbesto. Incluye la operación minera y las realizadas en la planta de beneficio para separar, transportar y clasificar las fibras (GTZ, 1996)

Perforación y demolición de la roca madre. Los minerales que contienen las fibras de asbesto se extraen directamente de la corteza terrestre, para lograrlo se utilizan técnicas de minería a cielo abierto, se hace el descapote del área (remover la vegetación y otras irregularidades del área), se hace un plan de minado, se barrena para colocar explosivos, se realiza la voladura primaria, el moneo, el tumbe y rezagado (SEMARNAT, 2007).

Extracción, carga y transporte. Posteriormente las grandes piedras se cargan en camiones y se llevan a una etapa de trituración primaria.

Trituración primaria. Las rocas son llevadas a un triturador de quijada para reducir su tamaño, las rocas que salen de ahí, más pequeñas pasan a una segunda etapa de trituración para reducir aún más su tamaño (GTZ, 1996).

Trituración secundaria. Las rocas que salen de la etapa anterior se llevan a un molino de rodillos en donde salen pequeñas piedras de 3 a 5 cm de diámetro, adecuadas para la planta de beneficio (GTZ, 1996).

Secado de minerales. Las rocas de mineral triturado se pasan a un secador de chimenea que generalmente está equipado con un ciclón para capturar partículas, una vez secas, las piedras se depositan en un almacén (o área).

Almacén de rocas secas. Una vez que las piedras o rocas salen del secado, se pasan a un almacén en donde se pueden enfriar y se guardan en lo que entran a la planta de beneficio.

Tamiz vibratorio. Una vez en la planta de beneficio, las piedras se cargan a un tamiz vibratorio para empezar a separarlas, los gruesos se envía a un triturador de rodillos para reducir aún más su tamaño y los finos se juntan con los gruesos ya molidos, esta operación se repite en múltiples ocasiones para limpiar y separar las fibras según su tamaño.

Trituración (de rodillos). Los gruesos, separados en el tamiz, se envían a un molino de rodillos para reducir su tamaño, al material ya triturado se le unen los finos de la etapa anterior.

Recuperación de fibra y desecho de minerales. La corriente formada, se envía a otro tamizado, y las fibras separadas se aspiran con aire y se envían a un ciclón, mientras que los gruesos se envían a un molino de bolas, el material molido que sale de éste se envía a otro tamiz donde los finos (asbestos) se recogen con aire, los gruesos constituyen el mineral de desecho (INE, 1987).

Acumulación de fibras útiles. Los asbestos recogidos por aire pasan por un ciclón en donde se separan las fibras más finas de las utilizables, las primeras se envían a una sección de filtros para capturarlas y las segundas se sedimentan y depositan en un área de acumulación de fibras de asbestos.

Filtro de limpieza. Las fibras de la sección anterior se pasan por un filtro de limpieza donde se eliminan residuos de minerales no útiles mientras que las fibras que si lo son, se separan con aire, estas son enviadas a un ciclón en donde las más finas se envían a una sección de filtros y las más gruesas se sedimentan y envían a una serie de tamizados con el fin de separarlas por tamaños (GTZ, 1996), (INE, 1987).

Sección de separación de fibras Las fibras útiles, ya limpias, entran en esta sección, en cada tamiz se separa mediante aire un tipo de fibras, éstas se envían a un ciclón donde las más finas se envían a los filtros y las correspondientes al tamaño seleccionado, se sedimentan y se recogen en un tambor, al final salen los minerales de desecho (GTZ, 1996), (INE, 1987).

Posteriormente, el material de los tambores se pasa, (según se necesite), a un equipo que llena los costales, (ahora de polietileno para evitar al máximo las fugas o

rupturas), con el material de asbesto, quedando listo para embarcarse hacia los clientes (INE, 1987).

Embalaje. Dependiendo del producto a elaborar, se adicionan las fibras de diferentes tamaños de cada tambor de fibras, según la composición deseada, los materiales se llevan a una máquina o silo que los mezcla y luego los empaca en bolsas de polietileno.

Filtros de fibras muy finas. Son sacos, conectados al final del sistema de aspirado, en donde se atrapan las partículas más finas y peligrosas de este material, el manejo de ellos debe de ser el adecuado para no liberar estos materiales.

Bandas de transporte en general. Son máquinas para el transporte y vertido de estos materiales, conectando diferentes secciones de la planta de beneficio.

Depósito de minerales de desecho Son lugares en donde se acumulan estos materiales.

Disposición de minerales de desecho. Son las actividades enfocadas a darle confinamiento final a estos minerales, incluyen el transporte, el vertido y la nivelación del terreno (INE, 1987).

Ciclones. Como ya se ha visto, se utilizan ampliamente para transportar y separar las fibras de asbesto, el volumen de aire utilizado es de 7 a 10 toneladas de aire por tonelada de fibra (INE, 1987).

Considerando la cantidad de aire utilizado y el tamaño de las partículas, es fácil inundar el área de trabajo con partículas de asbesto en caso de fugas, accidentes o un control inadecuado del proceso (INE, 1987).

EFFECTOS AMBIENTALES DE LA EXTRACCIÓN DE LAS FIBRAS DE ASBESTO

En general, durante las operaciones de minería se generan daños ambientales notables como la destrucción de la orografía, la flora y fauna del lugar. Como ya se mencionó, en México no hay minería de asbesto, en países como Canadá se toman fuertes medidas para minimizar las afectaciones ambientales, mientras que en Sudáfrica y la India constantemente se presentan demandas por las pobres condiciones de salud de los trabajadores del sector.

Durante la **perforación de la roca madre**, los residuos emitidos a la atmósfera incluyen polvos, fibras de asbesto (partículas) y gases de combustión de las máquinas que operan y que dependen principalmente del combustible usado. Los residuos líquidos que generalmente se emiten pueden incluir fluidos de baterías que contienen elementos y compuestos de éstos como As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb entre otros, así como residuos de explosivos, combustibles y fluidos hidráulicos, los residuos sólidos pueden comprender depósitos de mena o minerales que no representan beneficio.

Durante **la extracción, carga y transporte** se generan residuos líquidos que incluyen de fluidos hidráulicos, de baterías (como ácido sulfúrico), además de nubes de polvo y partículas de asbesto.

Durante las etapas de **trituration primaria y secundaria** se generan polvos y partículas suspendidas de fibras de asbesto.

Durante el **secado de los minerales** se generan gases de combustión, dependiendo del combustible utilizado, la cantidad de polvos y partículas de asbesto se reduce considerablemente por el ciclón.

En el **almacén de rocas secas** puede haber partículas de asbesto aunque en una cantidad relativamente menor, ya que solo las fibras que están lo suficientemente sueltas son levantadas por el viento del lugar.

En el **tamiz vibratorio, los rodillos de trituración, la recuperación de fibra y desecho de minerales, la acumulación de fibras útiles** se pueden liberar de partículas de asbesto y polvos de minerales, mismos que pueden contener compuestos de elementos como As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb. Estos contaminantes pueden llegar al agua por operaciones de limpieza o constituir residuos sólidos.

Del **filtro de limpieza** se generan residuos sólidos compuestos del material atrapado en ellos, mismo que está constituido por fibras de asbesto que se volatilizan fácilmente.

En los **tambores de fibras** es donde es frecuente encontrar partículas de asbesto aunque existen plantas con circuito cerrado y/o con sistemas de eliminación de partículas en esta área (GTZ, 1996).

En la **sección de tamizados**, están conectados a ciclones para lograr la separación, por lo que las partículas de asbesto que salen medio ambiente y área de trabajo, son escasos (GTZ, 1996).

Durante el **embalaje** y sobre todo en el **vertido**, se liberan fibras de asbesto. En las **bandas de transporte y vertido**, se generan fácilmente partículas de asbesto, también, durante las **actividades de disposición** de minerales de desecho y en los **depósitos de minerales** de desecho son comunes.

79 FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE ASBESTO-CEMENTO

Desde los años 1880, se empezó a experimentar con mezclas de asbestos con otros materiales, buscando transferir las propiedades observadas en éstos al producto final, una de las mezclas que mostró dar buenos resultados para la industria de la construcción fue la de los asbestos y el cemento, ya para principios del siglo XX en los Estados Unidos eran materiales de construcción conocidos por ser relativamente baratos y de fácil producción, además sus propiedades químicas y físicas fueron

rápidamente valoradas (NPI, 2010).

En 1905 fueron introducidos como recubrimientos para calentadores, tuberías de vapor y hornos por H.W Johns Manufacturing Co., poco tiempo después, se vendieron como recubrimientos impermeabilizantes y aislantes para azoteas, haciendo prácticamente innecesario el mantenimiento por mucho tiempo (Woods, A.L, 2000).

Fue hasta 1907 cuando el ingeniero austriaco Ludwid Hatschek hizo posible la fabricación de productos preformados de asbesto cemento, mediante su máquina "Hatschek", que es un formador de hojas con base húmeda, (Woods, A.L, 2000).

Estos productos se fabrican partiendo del cemento, por lo general el conocido como "portland" que es un cemento hidráulico, al que se le añaden fibras de asbesto, muy frecuentemente de crisotilo para conferirle propiedades deseadas al producto final, su uso rápidamente se extendió a otras áreas de la construcción.

La cantidad de fibras adicionadas comúnmente está entre el 8 y el 30% en peso, aunque hay productos que llegan a tener hasta el 75% (Woods, A.L, 2000), ésta varía según el producto a elaborar, el método o proceso a utilizar para hacerlo y al costo, ya que las fibras son el aditivo más caro. También, según el caso, se le pueden agregar otros componentes como el dióxido de silicio, pigmentos, celulosa, perlita, silicato de calcio entre otros, para obtener las propiedades deseadas, bajar costos o ayudar a facilitar el proceso de manufactura (INE, 1987), (GTZ, 1996).

Los productos de asbesto cemento son muy utilizados en la construcción por su resistencia al medio ambiente e incombustibilidad, son materiales fuertes, parecidos al concreto armado, con más flexibilidad que éste, pudiendo producir placas y láminas de muchos tamaños, incluso aquellos relativamente grandes con espesores variados según la necesidad.

En general se realizan las operaciones siguientes en todos los procesos de fabricación, de una u otra manera (Crysotile Ins, 1998):

1. Desembolsado de las fibras de asbestos,
2. Desfibrado (preparación de las fibras),
3. Preparación de la pasta de asbesto y cemento,
4. Formación de la hoja o del tubo,
5. Curado,
6. Acabado,
7. Reciclado.

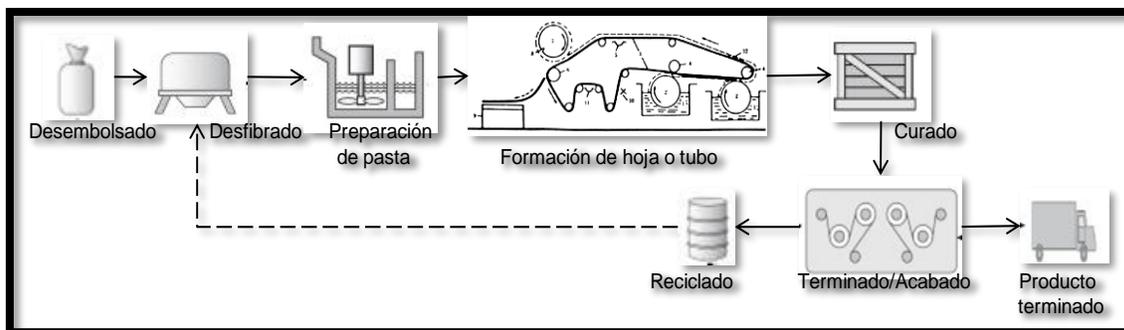


Figura 8. Esquema general de fabricación de productos de asbesto cemento. Construido con información de (Crysotile Ins, 1998)

Desembolsado. Para sacar las fibras de asbesto de las bolsas contenedoras, éstas se llevan a una estación apropiada para abrirlas, es importante cuidar la integridad de los sacos o contenedores para evitar que el material se pulverice y que los trabajadores se expongan a las partículas, de ser así, las bolsas rotas deben ser reparadas o el material reempacado y las maniobras las debe realizar personal entrenado y adecuadamente equipado para evitar problemas de salud (NPI, 1998).

Para controlar el nivel de partículas se recomienda utilizar agua, en lugar de trapear el área se recomienda limpiar con vacío para evitar que las partículas depositadas en el agua se sequen quedando en posibilidad de flotar otra vez (Crysotile Ins, 1998).

La mejor forma de deshacerse del empaque es el automático (sin la intervención humana), de no contarse con él, el personal encargado de desembolsar las fibras debe de hacerlo de tal manera que genere la menor cantidad posible de partículas suspendidas, además de contar con el equipo de protección adecuado y disponer adecuadamente de las bolsas o contenedores desde este punto (Crysotile Ins, 1998).

Desfibrado. El siguiente paso es el tratamiento de las fibras para separarlas, permitiendo que puedan mezclarse homogéneamente con los otros materiales como el cemento y otros aditivos, esta etapa es crucial para garantizar las propiedades deseadas en el producto final. Se hace mediante varios tipos de equipo, dependiendo del proceso en específico a utilizar, usando fibra seca, húmeda o una lechada acuosa (Crysotile Ins, 1998).

Los tipos de equipos utilizados frecuentemente para preparar (separar) las fibras son el kollergang (fibra seca o húmeda), el hollander (lechada acuosa), hydropulper (lechada acuosa), el desintegrador (fibra seca) y el willow (fibra seca), se pueden utilizar solos o en combinación dependiendo del tipo de materias primas, de factores económicos, tecnológicos y del tipo de producto a elaborar (Crysotile Ins, 1998).

El kollergang se opera con fibra seca o con el 30% de agua adicionada, usualmente se instala antes de un hollander o de un hidropulper, estos dos últimos también se utilizan solos, al utilizar el kollergang sin agua, generalmente se continúa con un hollander y después un desintegrador, éste último o el willow se utilizan solos

también (Crysotile Ins, 1998).

Para el control de partículas suspendidas se opera el kollergang en espacio cerrado, con una campana conectada a un sistema de extracción y filtros, el transporte de material de un equipo a otro también puede ocasionar la liberación de partículas de asbesto al aire, dependiendo del tamaño de la instalación y la forma de hacerlo (Crysotile Ins, 1998).

Preparación de la pasta de asbesto y cemento. El hollander y el hidropulper también pueden usarse para mezclar asbestos con cemento al final de la línea de desfibrado, en ocasiones con la ayuda de otros equipos (un tanque cónico con una bomba por ejemplo) y dependiendo de la forma en que se va a formar la hoja se puede adicionar agua o no, la mezcla o pasta preparada abastece a la sección de formación de la hoja y cuando es necesario, se coloca un hidropulper después del tanque de mezcla o pasta de la sección (o maquina) formadora de hoja para mantener lo más homogénea posible a la mezcla (Crysotile Ins, 1998).

Puesto que el hollander y el hidropulper son utilizados para hacer la pasta de asbesto y cemento la emisión de partículas aquí es casi nula, de haber en las adiciones, se puede controlar esparciendo agua la cual es también parte de la pasta (Crysotile Ins, 1998), algunos productos pueden requerir de la adición de solventes orgánicos como el fenol, además de resinas de varios tipos (como las fenólicas), fibras sintéticas, celulosa, dióxido de silicio (en diferentes formas), óxidos de hierro y pigmentos en general, carbonatos, puzolanas (es un tipo de arcilla muy usada en algunos tipos de cementos), entre otros.

La formación de la hoja o tubería. Esta parte es en sí, la central y más importante de los distintos procesos, existen 4 diferentes formas de elaborar la hoja:

1. Proceso húmedo a máquina Hastcheck,
 2. Proceso húmedo a prensa,
 3. Proceso semiseco a máquina,
 4. Proceso de moldeo.
- Proceso húmedo a máquina Hastcheck (láminas). Una vez que los materiales han sido desembolsados y se ha preparado la fibra, principalmente por medios mecánicos, se hace la mezcla con el cemento (ver la sección de “desfibrado, anterior a esta) y los otros aditivos como el dióxido de silicio, la celulosa, entre otros.

La pasta se introduce en la máquina formadora, la que tiene una rejilla giratoria en sentido horizontal, en ella se deposita una capa delgada de la mezcla, cuando la lámina formada sale de la pasta, un rodillo de caucho la presiona, después la lamina pasa por un área de vacío para secarla y posteriormente por un rodillo de acero que le da el grosor necesario, una vez que sale se corta por lo ancho y se separa (Woods, A.L, 2000), (INE, 1987).

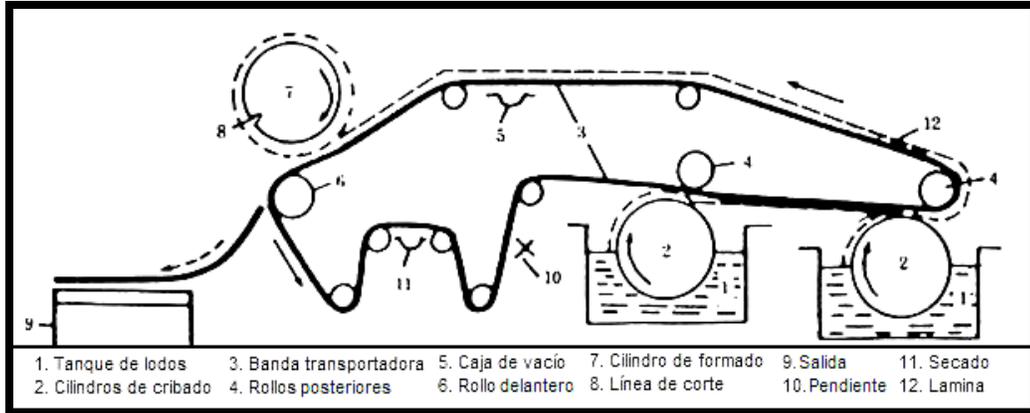


Figura 9. Dibujo de la máquina de Hastcheck para formar láminas de asbesto cemento, tomada de (Woods, A.L, 2000)

La lámina se apila junto con otras en una plataforma y se lleva a la sección de curado (4 semanas), el producto tendrá un lado lizo (por el rodillo de metal) y uno rugoso (Crysotile Ins, 1998).

De ser necesario, las láminas se pueden pulir con arena y se les puede aplicar algún tratamiento o recubrimiento superficial, los más comunes son cera y laca con pigmentos.

- Proceso húmedo de prensa (láminas). Se utiliza para formar piezas de formas diversas y se prefiere para espesores mayores a 9.5mm (3/8in), una vez que el asbesto ha sido desfibrado, se mezclan en seco con los otros ingredientes (cemento principalmente), posteriormente se pasan a un tolva de pesado y posteriormente a un mezclador húmedo, ahí se homogeniza la mezcla con agua y se pasa al molde de la pieza a fabricar, la prensa cae sobre ésta y el agua sale filtrada por la presión.

Las láminas se apilan (a lo mas por 48 horas) y después se llevan al curado de 4 semanas.

- Proceso semiseco a máquina (láminas). Una vez que se ha desfibrado el asbesto y se ha hecho la mezcla con las debidas proporciones, se deposita ésta en seco, en una banda sin fin, formando capas delegadas a las que se les aplica la cantidad de agua necesaria para formar la lámina, misma que se hace pasar por rodillos de presión, posteriormente, la pieza ya formada, se hace pasar por un segundo juego de rodillos de mayor presión, en ellos se puede hacer alguna impresión en una de las caras (textura) según sea el caso para después cortar el material en exceso y dejar a la pieza de acuerdo a las dimensiones de especificación, el producto final se saca de la banda y se apila para llevarlo a curado, este proceso se utiliza para hacer tejas de construcción (GTZ, 1996), (INE, 1987).
- Proceso de moldeo. Una vez que los materiales están listos (desfibración y

mezcla), se hace la mezcla en base húmeda para introducirla en un molde de una pieza que por sus características, es difícil de hacer por otros procedimientos, dependiendo del caso se le agregan a la mezcla aditivos de proceso para facilitar el proceso de moldeado (sin afectar significativamente las propiedades del producto final), cada caso es diferente, se ha empleado para hacer tinacos (INE, 1987).

Formación de tubos. Éste es semejante al proceso húmedo a máquina ya descrito, con la diferencia de que, para este caso, se utiliza un mandril puesto a la salida de la máquina formadora de la hoja, éstos son desmontables para cambiarlos una vez que el tubo tiene el espesor deseado (INE, 1987), (Crysotile Ins, 1998).

Posteriormente se pasa el tubo con mandril al calandreo donde se le inyecta aire a presión en la interface de éstos, se hacen girar sobre rodillos y finalmente se precalienta el mandril para retirarlo, esto también ayuda a que el material se endurezca, y no se deforme durante el manejo (Crysotile Ins, 1998).

Una vez que el tubo está libre, se lleva a una estufa de fraguado para darle la dureza necesaria, después, se colocan en mesones para entrar a una autoclave de curado, ahí, el material se hidrata y si es necesario se adiciona algún componente para mejorar sus propiedades (uno común es el dióxido de silicio) (Crysotile Ins, 1998).

Una vez el tubo sale, está listo para el torneado para formar los extremos y el interior de los coplees según las especificaciones, por último se realizan las pruebas hidrostáticas que de manera general, implica someter el tubo a 3 veces la presión de operación para garantizar que el producto es adecuado (INE, 1987).

Curado. Es la operación que tiene por objeto hacer que el material se endurezca y llegue a tener las propiedades deseadas, los materiales de asbesto cemento pueden curar simplemente con el tiempo, en una bodega adecuada, también se pueden utilizar hornos o autoclaves utilizando vapor, dependiendo del producto, en la sección anterior se mencionó brevemente el curado de los que reciben los tubos (INE, 1987).

Terminado. Son las operaciones para cortar rebabas, tornear, pulir superficies y hacer perforaciones si es que se necesita, estos pasos son necesarios para que el producto cumpla con las especificaciones.

Acabado. Consiste en la serie de procesos destinados a conferirle propiedades adicionales al material, generalmente a su superficie, los productos de asbesto cemento reciben acabados decorativos, lacas protectoras y en el caso de tubos, se hacen para que puedan unirse a otros (INE, 1987).

Reciclado. Cuando algún producto sale mal, en ocasiones es posible reincorporar los materiales al proceso productivo moliéndolo, esto puede generar partículas de asbesto.

EFFECTOS AMBIENTALES DE LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE ASBESTO-CEMENTO

Durante el **desembolsado y el desfibrado** la emisión de partículas de asbesto es el principal aspecto de cuidado, éstas pueden pasar al agua en las labores de limpieza y mantenimiento de las instalaciones (algunas partículas de asbesto se quedan en las paredes y pisos), estas aguas al secarse las depositan en el lugar, dejándolas libres para volver a “suspenderse” en el aire.

También puede haber residuos sólidos que contengan partículas, derivados de actividades de mantenimiento, las bolsas que las contienen se consideran RPs por tener fibras que fácilmente pasan al aire.

Durante la **preparación de la pasta también** se emiten partículas de asbesto, sobre todo en el momento de pesar y verter los polvos y si se usan solventes (como el fenol), COVs provenientes de ellos.

Durante la **formación de la hoja** (o del **tubo**, según el caso), puede haber partículas de asbesto en el aire en procesos semisecos aunque la cantidad generalmente es menor a la generada durante la preparación de la pasta.

En el **curado** los contaminantes producidos son los gases de combustión, ya sea para secar con aire o vapor. Durante el **terminado** puede haber emisión de partículas de asbesto al aire y al agua, por la limpieza de la zona y por la utilización de ésta en dichas operaciones, también se pueden generar residuos sólidos del material.

En el **acabado** puede haber partículas aunque no solamente de asbestos, (pueden incluir compuestos de elementos como As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb entre otros) también puede haber vapores de solventes (según el caso), algunos desechos de este tipo se van como residuos en el agua o constituyen residuos sólidos (INE, 1987).

Como ya se ha visto, al moler materiales para **reciclarlos**, se pueden generar partículas de asbesto.

LN FABRICACIÓN DE HILOS DE ASBESTO

Antes de fabricar hilos de asbesto, se siguen las operaciones de desembolsado y desfibrado como el caso de los productos de asbesto cemento, el desfibrado puede hacerse de varias formas pero la más común es por medio de rodillos en maquinas especiales.

Existen básicamente 2 procesos para elaborar hilos de asbesto, los húmedos y los secos, los primeros tienen limitaciones porque las propiedades de las fibras se alteran y no son adecuadas para todos los casos (INE, 1987).

Proceso seco. Éste es parecido al proceso textil común, en la operación del cardado igual que con los textiles “comunes” la fibra de asbesto se vacía en un recipiente y se

mezcla con las otras fibras como la de vidrio, cerámica, rayón, algodón, PBI, kevlar, nomex, almidas en general, acrilán, polipropilenos de distintos pesos moleculares, entre muchos otros, según se necesite, ésta se mezcla se peina para formar una trama de fibras paralelas, éstas se dividen en tiras que después son hiladas para formar madejas de hilo (INE, 1987).

Los hilos producidos anteriormente se almacenan y agrupan en una cordonera y de ser necesario, se introducen en un horno para afinar sus propiedades y eliminar rebabas o sobrantes, una vez que los hilos están listos, se tuercen para obtener el hilo final (producto), dependiendo de lo que se quiera hacer será la torcedura (mayor torcedura, mayor rigidez), posteriormente este hilo es embobinado para almacenarlo, empacarlo y venderlo (SEMARNAT, 2001).

Proceso húmedo. Las fibras de asbesto se mezclan con agua y diversos aditivos químicos, se forma una pasta que se agrega a un extrusor que forma el hilo simple, con el que se siguen las operaciones descritas en el proceso seco (INE, 1987).

Los productos textiles de asbesto son generalmente costosos y la fabricación es difícil, los productos de hilo de asbesto pueden incluir entre el 75 y el 90% de este material, además de que el material ya hecho puede combinarse con otros materiales para la confección de una prenda o equipo de protección, como el algodón y fibras sintéticas (nylon por ejemplo) (Crysotile Ins, 1998).

Existe una clasificación de las fibras de asbesto, en grupos, según su longitud. Según ésta, se tienen diferentes productos elaborados, a continuación se dan algunos ejemplos:

Las fibras del grupo 3 se utilizan para elaborar revestimientos de frenos y embragues (autopartes), también se elaboran con ellas empaques, disponiendo estos textiles en capas con aglutinantes (INE, 1987).

Las fibras del grupo 4 se utilizan para hacer papeles, juntas y otras piezas de tubería, Las del grupo 5, más cortas también se utilizan en estos productos aunque combinadas con fibras más largas o fibras de otros orígenes (INE, 1987).

Las fibras del grupo 6 antes se desechaban pero ahora se utilizan en la elaboración de papel y estuco, las del grupo 7 antes de desecho también por ser muy cortas, ahora se utilizan, junto con las captadas en los filtros para integrar materiales de relleno (INE, 1987).

Los hilos de asbesto se utilizan para hacer textiles que por naturaleza, ofrecen una buena protección contra el fuego, éstos también son utilizados para hacer revestimientos de piezas sometidas a fricción.

EFFECTOS AMBIENTALES DE LA FABRICACIÓN DE HILOS DE ASBESTO

En el **cardado** se tiene generalmente problemas de emisión de partículas de

asbesto, en el **hilado**, también pueden existir problemas de este mismo tipo por las velocidades de trabajo y por la ruptura de hilos, en el **tejido** los problemas de este tipo son menores pero también hay riesgo de exposición (INE, 1987).

En el **proceso húmedo** se reducen mucho los problemas de emisiones de partículas porque estas están en un medio líquido que las contiene, sin embargo en el **hilado** y **tejido** también puede haber emisiones, adicionalmente, se trabajan con solventes que pueden generar vapores, el fenol es uno de los solventes que todavía se utilizan (Crysotile Ins, 1998).

En el caso de tener una etapa de **horneado**, se producen gases de combustión que dependen (entre otros factores) de los combustibles utilizados.

Adicionalmente a los problemas ya descritos en los procesos seco y húmedo, los **productos textiles (ropa)** contiene fibras libres (sin un aglutinante) que pueden liberarse con el tiempo en forma de pelusa. De forma general se sabe que las emisiones de la industria textil del asbesto son de las más significativas (INE, 1987).

LM FABRICACIÓN DE PIEZAS DE FRICCIÓN (AUTOPARTES)

Para elaborar piezas como embragues, frenos, juntas y demás piezas sometidas a grandes esfuerzos de fricción, se sigue el siguiente proceso.

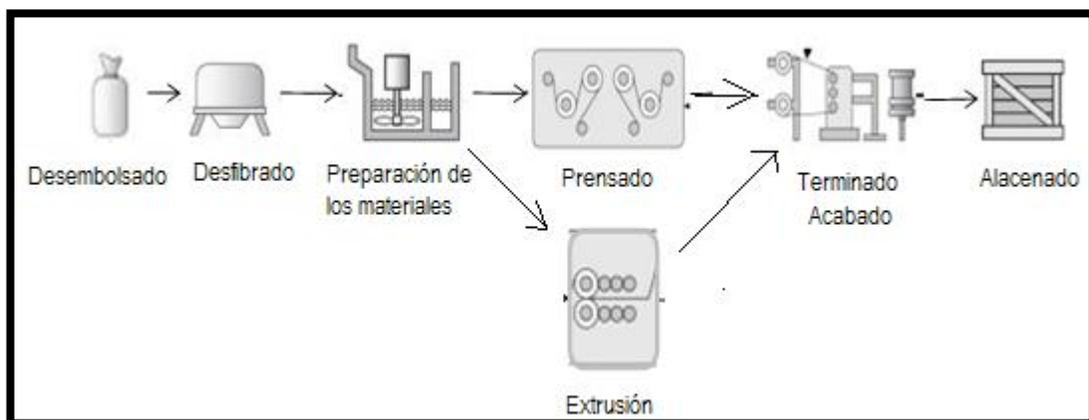


Figura 10. Esquema general de la fabricación de piezas de fricción como autopartes

El desembolsado y la desfibración son fueron descritas previamente y básicamente no difieren en esta.

La preparación de la mezcla. Está en función del tipo de proceso utilizar, los materiales que se utilizan para hacer estas piezas generalmente son:

1. El aglutinante, que pueden ser resinas naturales, fenólicas o de otro tipo, hule sintético.
2. El material de refuerzo, que generalmente son fibras de crisotilo, en ocasiones se incluye fibra de vidrio y en ciertos productos mallas de alambre.

3. Aditivos o complementos que se usan según se necesiten, éstos que pueden ser Minerales como vermiculitas, dolomitas, cromita, perlita, alúmina o la barita metales como el plomo o latón, materiales carbonosos como el grafito, asfaltos carbón, azufre, óxido de aluminio entre otros.
4. Solventes como el metanol, hexano, thinner, aceites como el de linaza, diversos hidrocarburos como mezclas de naftas.
5. Agentes químicos como la anilina, que puede ser necesaria para el fraguado de ciertas resinas (muchas veces está contenida en ellas), formaldehído contenido también en algunas resinas, acrilonitrilo.

Una vez que los materiales se tienen en la forma adecuada, se pesan y se mezclan en las proporciones requeridas para el producto final, ya que se tiene la mezcla preparada se pasa a la sección siguiente.

Si el paso siguiente es la extrusión, se hace lo mismo pero en base húmeda, utilizando solventes y otras resinas adicionales para hacer una pasta homogénea que se alimenta al extrusor.

Prensado (preformado y prensa caliente). La mezcla en seco (resina, asbestos, complementos) se lleva a tanques abiertos de alimentación de las prensas, de aquí, se pesa y se transfiere la cantidad necesaria a cada molde, una vez aquí, se preforma la pieza, en siguiente paso es llevar estas piezas a la prensa caliente, donde se endurece y toma consistencia, posteriormente se deja curar y para luego sacarlas de las prensa caliente y de los moldes (Crysotile Ins, 1998).

Extrusión. La pasta se introduce en un extrusor que consta de un rodillo sin fin que calienta el material y le da forma, este material se utiliza para moldear las piezas.

Cortado, taladrado y esmerilado. En esta etapa se cortan las rebabas, salientes y sobrantes de la pieza y de ser el caso, se hacen los orificios necesarios a la pieza y/o el esmerilado (Crysotile Ins, 1998).

Acabado. Finalmente se le da a la pieza, una pulida general para alisar la superficie y hacerla adecuada para su función, de ser el caso, se puede aplicar una capa de protección con alguna resina o laca a la pieza o a ciertas superficies de ella.

EFFECTOS AMBIENTALES DE LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE FRICCIÓN (AUTOPARTES)

En la **preparación de la mezcla** puede haber partículas de polvo y asbestos liberadas al medio ambiente que constituyen un riesgo para los trabajadores, así como vapores de solventes orgánicos utilizados en preparar la pasta para extrusión, como el fenol, el formaldehído, la anilina, el acrilonitrilo, metanol, hexano, thinner y otros hidrocarburos (naftas) que también se pueden liberar como COVs, algunas resinas utilizadas pueden contener trazas de cianuros que pueden terminar en el agua al limpiar y darle mantenimiento al equipo (Crysotile, 1998).

Durante el **proceso de preformado y prensa caliente** puede haber liberación de

partículas de asbesto peligrosas para la salud del trabajador, COVs que pueden incluir los ya mencionados, algunas resinas pueden contener restos de cianuros que pueden terminar en el agua al limpiar y darle mantenimiento al equipo.

Durante la **extrusión** no hay liberación de partículas de asbesto pero pueden liberarse COVs, como los ya mencionados, también éstas pueden contener pequeñas cantidades de cianuros que pueden terminar en el agua al limpiar y darle mantenimiento al equipo (Crysotile Ins, 1998).

Durante el **corte, taladrado y esmerilado** pueden generarse polvos con residuos de asbesto, generalmente se hace con el apoyo de sistemas de aspirado y filtrado de polvos (Crysotile Ins, 1998).

En el **acabado** pueden generarse polvos con residuos de asbesto, generalmente se hace con el apoyo de sistemas de aspirado y filtrado de polvos, también puede haber residuos de pigmentos o pinturas.

Durante todas las etapas puede haber residuos de materiales que se limpian periódicamente para mantener la calidad del producto. Algunos contaminantes pueden pasar al agua durante operaciones de lavado de equipos y mantenimiento frecuente de áreas de trabajo.

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:

- Laboratorio.
- Zonas de almacenamiento.
- Operaciones de transporte de hidrocarburos y otros compuestos.
- Vehículos de transporte y de carga.
- Almacén temporal de residuos peligrosos.
- Planta desmineralizadora.
- Planta de tratamiento de aguas residuales.
- Calderas y equipos de combustión.
- Planta auxiliar de generación de energía eléctrica.
- Mantenimiento.
- Servicios generales.
- Sistemas contra incendios.

Laboratorios. Para realizar pruebas de calidad a materias primas, como pueden ser resinas utilizadas en la elaboración de productos, para hacer pruebas de propiedades mecánicas en productos terminados, en ocasiones para hacer análisis

de composición de productos, aguas residuales o subproductos, la información que genera el laboratorio ayuda tener un mejor control de proceso, a mantener un estándar de calidad y a tomar decisiones como si un material de desecho se puede reciclar o no.

Algunos laboratorios utilizan artículos de asbesto para hacer sus pruebas (por ejemplo, rejillas con este material entre otros).

Nota: Se puede consultar el listado 2 de la NOM-052 SEMARNAT-2005, los residuos que correspondan a la descripción NE01, NE02 o NE03 son RPs aquellos que contengan asbesto inmerso en el seno de otros materiales de tal forma que no sean fácilmente liberados no son RPs.

En caso de tener un residuo con asbesto y ser RP, para efectos del RETC, se debe reportar la masa total de dicho residuo en la sección 4.1 y en la 5.2 la masa de asbesto contenida, el contenido de asbesto en un producto puede ser consultado con el fabricante.

Zonas de almacenamiento. Estas áreas pueden ser desde unos cuantos m² de almacenes, bodegas con zonas, tanques y/o silos (para sólidos) de almacenamiento con un volumen relativamente pequeño hasta áreas mayores propiamente adecuadas para almacenar los insumos, materias primas y otros materiales utilizados en las actividades productivas y de mantenimiento. De igual forma, los productos suelen requerir de almacenamiento, estos pueden incluir desde los asbestos en sí (a granel, en supersacos, etc.) hasta productos elaborados con ellos (hilos, textiles, piezas moldeadas etc.). Dependiendo del tipo de empresa y procesos llevados a cabo, será la configuración de estas áreas. En el sector de asbestos también se pueden utilizar insumos o materias primas provenientes de la industria química como resinas de varios tipos, algunos polímeros y solventes, por lo que pudiera ser necesario incluir una zona de granjas de tanques para almacenar estos compuestos.

De las granjas de tanques que contienen compuestos orgánicos (y varios inorgánicos) se desprenden 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 la sola contención de líquidos orgánicos volátiles (standing losses). Estas estimaciones requieren 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.

Algunos ejemplos de los insumos utilizados fueron descritos en los procesos productivos mencionados. Se recomienda tener áreas separadas y bien señalizadas

para la materia prima, reactivos y material de empaque. Debe recordarse que la materia prima y reactivos considerados materiales peligrosos requieren de un almacén especial.

Operaciones de transporte de hidrocarburos y otros compuestos. Si se requieren combustibles para las operaciones y actividades llevadas a cabo y/o para los vehículos utilizados, puede ser necesario que el sitio o instalación incluya una instalación para manejarlos. Otros compuestos orgánicos pueden ser manipulados en una empresa tratadora según el tipo de residuos manejados, tratamientos aplicados y productos obtenidos.

Aunque no es dirigido para este sector, el AP42 sección 5.2 **Fuente especificada no válida.**, describe las operaciones de carga, transporte y descarga de combustibles y una forma de estimar las emisiones correspondientes. Esta información puede ser útil para algunas empresas. Para el resto de las operaciones de transporte de sustancias químicas sobre las que no hay información, queda en las empresas la oportunidad de estimar las emisiones de contaminantes y si es posible, el desarrollo de una metodología de estimación. (Además de realizar la operación en forma eficiente y segura).

Vehículos de transporte y carga. Como barcos, helicópteros, carros, montacargas, grúas entre otros, generan gases de combustión según el combustible utilizado, el establecimiento es responsable de éstos (o de la empresa a la que pertenezcan), 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. Es el área designada y equipada adecuadamente para contener los residuos peligrosos mientras se dispone de ellos (dentro del establecimiento o transfiriéndolos a un tercero). El tiempo que los residuos permanecen almacenados y las condiciones de almacenamiento deben ser registrados en la sección IV de la COA.

Algunos de los residuos peligrosos almacenados pueden ser empaques, recipientes y/o contenedores de residuos peligrosos e insumos que contengan reactivos con características de peligrosidad (por ejemplo, los sacos de fibras de asbesto, el fenol, presente resinas etc.), lo mismo para aceites gastados, estopas y trapos de mantenimiento, lodos de tratamiento de aguas, entre otros.

Planta desmineralizadora de agua. Algunas aplicaciones tecnológicas, propias del sector y los equipos de calentamiento como calderas o generadores de vapor, 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.

Algunos procesos utilizan vapor para curar productos de asbesto cemento como láminas, tejas, tubos entre otros. Estas plantas producen arenillas o lodos que contienen los minerales retirados del agua, generalmente el volumen de estos es muy reducido.

Planta de tratamiento de aguas residuales. Este tipo de instalaciones por lo general, se incluyen dentro del “proceso productivo” de la instalación de tratamiento de residuos peligrosos ya que realizan una función que es característica del sector (tratar residuos), en ocasiones, las corrientes que contienen RPs se tratan en secciones o módulos particulares según el tipo de contaminante presente y la descarga de éstas, se pasa a otro modulo o planta de tratamiento de aguas “más común” que acaba de ajustar las características del agua para poderla reutilizar o descargar.

Algunas instalaciones cuentan con plantas tratadoras de aguas negras además de tener módulos para dar tratamiento a corrientes industriales con características especiales, otras empresas tienen este tipo de plantas dándole el servicio directamente a los efluentes de compañías en particular que las subcontratan para estos servicios, de ser el caso anterior, la empresa que administra la planta de tratamiento de aguas debe de hacer el reporte de su propia COA.

Las emisiones al aire provenientes de estas plantas, son principalmente gases de efecto invernadero, principalmente el metano, proveniente de procesos biológicos, 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, fosforo 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 detecten o existan, 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 del agua en la industria del asbesto es relativamente bajo comparado con el que se consumen en otros sectores. Actualmente hay procesos para obtener fibras de asbesto en base húmeda que reducen notablemente la emisión de partículas a la atmosfera, sin embargo, el consumo de agua es considerablemente mayor al

observado en empresas que siguen procesos secos.

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, H₂SO₄, 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 o incluso son totalmente autosuficientes en este aspecto, produciéndola a partir de los combustibles fósiles como combustóleo, diesel, gas natural, combustibles formulados 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. El personal que labora en empresas que manejan asbesto debe de tener la capacitación y equipo adecuado para evitar la exposición a las fibras suspendidas en el aire y que los residuos que las contengan las puedan generar. Algunas instalaciones subcontratan estos servicios.

Nota: Se puede consultar el listado 2 de la NOM-052 SEMARNAT-2005, los residuos que correspondan a la descripción NE01, NE02 o NE03 son RPs aquellos que contengan asbesto inmerso en el seno de otros materiales de tal forma que no sean fácilmente liberados no son RPs en los artículos 36 y 37 de reglamento de RP.

En caso de tener un residuo con asbesto y ser RP, para efectos del RETC, se debe reportar la masa total de dicho residuo en la sección 4.1 y en la 5.2 la masa de asbesto contenida, el contenido de asbesto en un producto puede ser consultado con el fabricante.

Servicios generales. Esta parte incluye servicios administrativos, oficinas, sanitarios, baños, limpieza general (barrer, trapear, sacar la basura etc.), aire acondicionado, jardinería, etc.

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 su reporte dentro de la COA.

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. El uso de insumos contra incendio en algunos casos es necesario.

INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL

Identificación de la información necesaria y sus fuentes

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 sugeridos para arreglar el problema y para la recopilación de datos.

Recuadro C. Información 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 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 Licencia como equipos, maquinaria o actividad <p>⚠️ 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>	<p>Algoritmo 1.1. Elaboración del diagrama de operación y funcionamiento</p> <p>Figura 6. 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> <p>Figura 7. Ejemplo de un diagrama de operación y funcionamiento del proceso de elaboración de autopartes con asbesto</p> <p>Figura 8. Ejemplo de la tabla resumen generada por el programa de reporte de la COA del proceso de elaboración de autopartes con asbesto</p> <p>Figura 9. Imagen de la hoja de cálculo usada como apoyo para elaborar el diagrama de funcionamiento (apartado 1.1)</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 	<p>Recuadro 1. 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>productivo y en los servicios auxiliares, incluyendo aquellas que son RETC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se reportan combustibles usados para generar energía como insumos, ⚠ Éstos se reportan en la tabla 1.4 • ⚠ 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 2. 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 3. Bitácora (sugerida) para la recopilación de información de consumo de combustibles por equipo mediante medición directa</p> <p>Recuadro 4. 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>Figura 10. Imagen de una hoja de cálculo y bitácora sugerida para la recopilación de Información por una empresa sobre inventarios de combustible del año a reportar</p> <p>Algoritmo 1.4.1-3. Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	Ejemplo 1.4.1-3. Estimación indirecta por energía consumida teórica y poder calorífico Figura 11. 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
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 5. Campos de la hoja de cálculo usada como bitácora (sugerida) para el registro de consumos 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.

- 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.

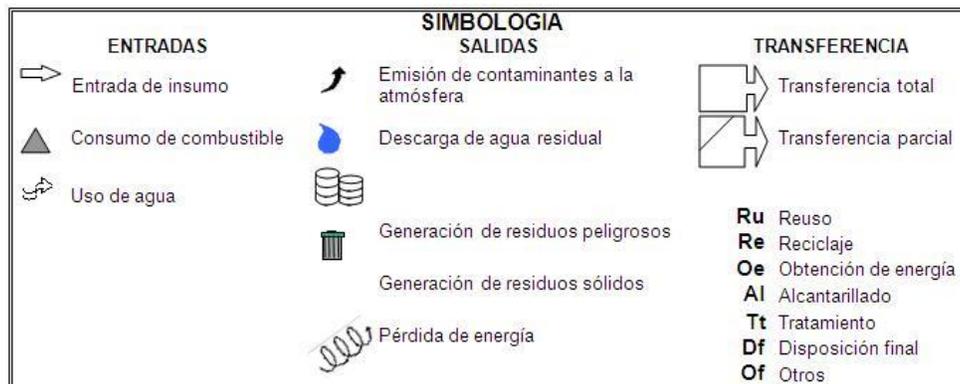


Figura 11. Imagen de la tabla del formato oficial de la COA con la simbología para elaborar el diagrama de funcionamiento del apartado 1.1

En este paso se debe identificar únicamente si existen entradas o salidas en la etapa analizada.

- 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

Para ejemplificar como es que estos diagramas se construyen, se tomó de base un proceso de fabricación de piezas de con asbesto y su impacto ambiental como el descrito en este documento previamente. Con él se hizo un diagrama usando el programa de reporte de la COA (versión 6.2.72) y a continuación se explican los aspectos que se tomaron en cuenta para elaborarlo. El diagrama construido es el siguiente.

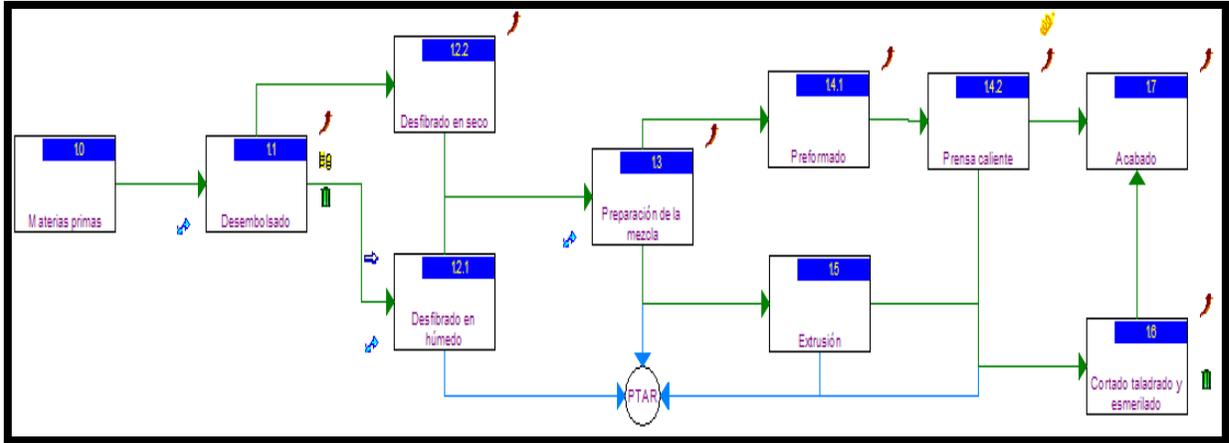


Figura 12. Ejemplo de un diagrama de operación y funcionamiento de un proceso de elaboración de autopartes con asbesto

Para empezar, el diagrama debe de provenir de los documentos propios de la empresa en donde está la instalación, como DFPs, DTIs, etc. Como ya se comentó, para este ejemplo se usó un diagrama expuesto en la descripción de los procesos del sector de esta guía.

Los colores de las flechas ayudan a identificar la naturaleza de las corrientes, las de color verde indican la secuencia principal del proceso de manufactura, las azules indican las corrientes de desechos líquidos que van a la planta de tratamiento de aguas del sitio.

Los símbolos de emisiones indican emisiones que se originan durante la operación (no durante el mantenimiento), entre ellas se cuentan las emisiones de partículas típicas de estas operaciones.

La numeración se hizo al azar, partiendo de la secuencia que se siguió para construir el diagrama. Si hay varios diagramas de diferentes procesos conviene que se siga un orden adecuado para expresarlos a todos.

Los conectores se identifican con una letra, tanto para el de entrada como para el de salida de las corrientes. Esto ayuda a seguir el diagrama con más claridad. Si hay conectores entre diferentes diagramas hay que identificar de qué y a qué diagrama vienen y van respectivamente.

Para terminar, la distribución del diagrama se pensó para que pudiera aprovechar el espacio gráfico para ser lo más claro posible. La siguiente figura muestra un fragmento de la tabla resumen, generada por el software de reporte de la COA.

Tabla resumen											
No. del Diagrama	Nombre del equipo, maquinaria, actividad y operación unitaria	Entrada			Salida					Transferencia	
		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	Total	F
1 -- Fabricación de autopartes de asbesto											
1.0	Materias primas										
1.1	Desembolsado			X	X		X	X			
1.2.1	Desfibrado en húmedo	X		X							
1.2.2	Desfibrado en seco				X						
1.3	Preparación de la mezcla			X	X						
1.4.1	Preformado				X						
1.4.2	Prensa caliente				X				X		
1.5	Extrusión										
1.6	Cortado taladrado y esmerilado				X			X			
1.7	Acabado				X						

Figura 13. Ejemplo de la tabla resumen generada por el programa de reporte de la COA del proceso de elaboración de autopartes con asbesto

Si el proceso es muy complicado y/o la recopilación de la información no es un procedimiento inmediato, se recomienda utilizar una hoja de cálculo con un formato parecido a esta 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 una hoja de cálculo usada como apoyo en el ejemplo de esta guía.

Etapa	Dia	Bloq	Entradas			Salidas					Transferencias			
			⇒	△	↻	↶	💧	▽	🗑️	📄	⇒	⇒	⇒	
Materias primas	1	0												
Desembolsado	1	1			X	X		X	X					
Desfibrado en húmedo	1	2.1	X		X									
Desfibrado en seco	1	2.2				X								
Preparación de la mezcla	1	3	X			X								

Figura 14. Imagen de la hoja de cálculo usada como apoyo para elaborar el diagrama de 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, a continuación se adjunta una propuesta de formato de bitácora como ayuda para recopilar la información requerida en la tabla 1.2 de la COA.

Recuadro 1. 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 2. 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 sugiere utilizar bitácora como mostrada en el siguiente recuadro, 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 3. 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 4. 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, solamente es necesario sumar 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.

Esta metodología 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 15. 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 (si es que existen para el tipo de combustible utilizado), indicadas aquí por la fecha para efectos del ejemplo.

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 lograrlo 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 contenga 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.

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.

3. 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.
4. 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.

5. 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 utiliza equipos de combustión en su proceso. 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 16. 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.

Si llegara a haber combustibles propios en esta industria (como es común en la industria del petróleo, metalúrgica y química), 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 figura anterior (de la hoja de cálculo), se consumieron 3,018,923m³ de gas natural 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 la industria del asbesto los calentadores y calderas son equipos que con frecuencia se a 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 debe 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 5. 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 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 6. 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 12. 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 14. 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 14. Características de la chimenea. Recuadro 8. Detalle de la forma y unidades que se piden para reportar las características de las chimeneas en el software de la COA Figura 15. Esquematización 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 monitoreados por realizar monitoreos 	<p>Algoritmo 2.2. Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados. Ejemplo 2.2-1. Identificación de normatividad aplicable, parámetros normados y no normados Algoritmo 2.2-1. Cálculo del promedio de mediciones directas Recuadro 12. Bitácora sugerida para recopilación de información para el reporte del promedio de los monitoreos. Ejemplo 2.2-3. Cálculo del promedio de mediciones directas Figura 16. Ejemplo de un estudio de emisiones a la atmósfera Figura 17. Hoja de cálculo, usada como bitácora (sugerida), para la recopilación de información para el reporte del promedio de los monitoreos y cálculo de</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
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 	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, 2010a), 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. 	<p>Metodología 2.3. general para el reporte de la información en las diferentes tablas del formato de la COA</p> <p>Algoritmo 2.3-1. Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa</p> <p>Ejemplo 2.3-1. Ajuste de unidades de estimación de contaminantes por medición directa</p> <p>Algoritmo 2.3-2. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión</p> <p>Ejemplo 2.3-2. Estimación de emisiones a partir de factores de emisión (metano en calentadores y calderas)</p> <p>Ejemplo 2.3-3a. Uso de factores de emisión para el cálculo de emisiones de COVs de una operación de recuperación de solventes</p> <p>Algoritmo 2.3.3. Análisis de la aproximación polinomial (lineal) con mínimos cuadrados, usando datos históricos</p> <p>Ejemplo 2.3-4a y 2.3-4b. Estimación de emisiones a través de aproximación polinomial con mínimos cuadrados, usando 20 y 5 datos históricos</p> <p>Algoritmo 2.3-4. Cálculo de las emisiones a partir de balance de materiales</p> <p>Ejemplo 2.3-3b. Uso de un balance de materiales de la operación de recuperación de solventes para obtener información a reportar</p> <p>Ejemplo 2.3-5. Estimación de emisiones de fibras de asbesto en la fabricación de autopartes que las incluyen a partir del balance de materiales</p> <p>Ejemplo 2.3-6a. Estimación de emisiones por especiación, caso I (composición de las emisiones igual a la del fluido conducido)</p> <p>Ejemplo 2.3-6b. Estimación de emisiones por</p>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	especiación, caso II (composición de emisiones diferente a la del fluido conducido) Ejemplo 2.3-3c. Cálculo de las emisiones de COVs por el manejo de una mezcla de solventes usados Ejemplo 2.3-7. Cálculo de emisiones de un solvente mediante la estimación del coeficiente de transferencia de materia

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 el apartado 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, la información se ingresa la información en ésta.

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

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 sugiere construir una bitácora que contenga los mismos campos que la misma mostrada en el software de la COA como la mostrada a continuación.

Recuadro 6. 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 a la siguiente figura:

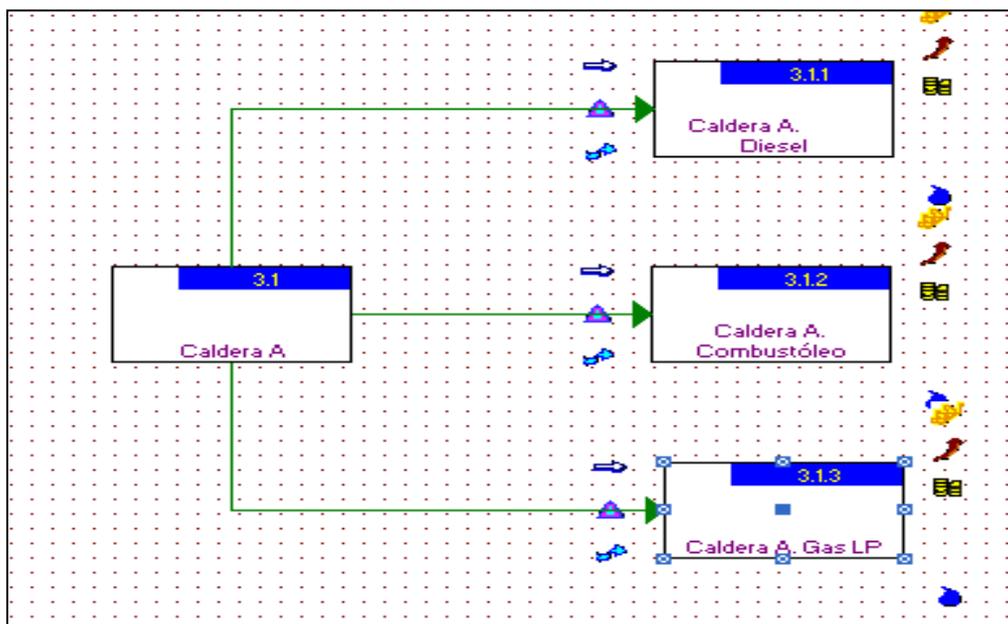


Figura 17. Diagrama de ejemplo de reporte de un equipo que utiliza más de un tipo de combustible

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 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 18. 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 7. 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

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 la industria del asbesto, 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 19. 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 8. 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 seca (%)	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:

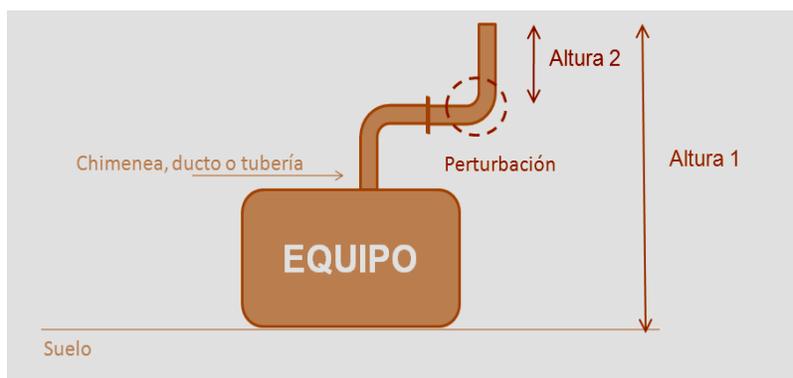


Figura 20. Esquematación de la altura 1 y altura 2 pedidas

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 del apartado 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 del sector de asbesto, 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 con las operaciones y equipos, misma que debe de ser congruente con el apartado 1.1 de la COA.

Recuadro 9. 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	2.4	0.630	GJ/h	GN
Secador 1	2.5	6.00	GJ/h	GN
Secador 2	2.6	6.125	GJ/h	Diesel
Sección de cortado (colector)	2.7	250	Nm ³ /min	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:

- La caldera y secadores (indirectos) 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).
- La emisión de partículas sólidas a la atmósfera por fuentes fijas, como los

hornos de fusión y de tratamientos térmicos son regulados 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 10. 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
2.4	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)
2.5	Secador indirecto de 6GJ/h que usa gas natural	CO	NOM-085-SEMARNAT-2011	Equipo de combustión entre 5.3 y 42.4GJ/h, combustible gaseoso, instalación ubicada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
		NOx		
		Otros: según el combustible utilizado ¹		
2.6	Secador indirecto de 6GJ/h que usa 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		
2.7	Sección de cortado	Otros: según el combustible utilizado ¹	NOM-043-SEMARNAT-1993	Flujo de gases de 250Nm ³ /min respectivamente para una zona crítica.
		Partículas		

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.

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 las tablas siguientes.

Recuadro 11. 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
2.4	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 combustible utilizado ¹	Otros: según el combustible utilizado ¹	Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.5	Secador indirecto de 6GJ/h que usa gas natural	CO	400ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Anual.
		NOx	190	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. anual
		Otros: según el combustible utilizado ¹		Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.6	Secador indirecto de 6GJ/h que usa diesel	Partículas	75mg/m3	NMX-AA-010-2001. Anual
		SO ₂	550ppmv	Factores de emisión, análisis en chimenea o análisis químicos del combustible. Anual
		NOx	190ppmv	NOM-098-SEMARNAT Anexo 2 o Método 7e USEPA. anual
		CO	400ppmv	NMX-AA-035-1976 o Infrarrojo no dispersivo o celda electro-química-Anual.
		Otros: según el combustible utilizado ¹		Factores de emisión, cálculos de ingeniería, balance de materia y energía, modelos matemáticos, medición directa etc.
2.7	Sección de cortado	Partículas		

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.

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.

1. Obtener la información del laboratorio o estudio de emisiones de la empresa, para auxiliarse, se sugiere utilizar una bitácora con los mismos campos que la tabla 2.2 de la COA como la que se muestra en el siguiente recuadro.

Recuadro 12. 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			
						1	2	3	4			Clave	Eficiencia %	Método de Cálculo Eficiencia	

2. Puesto que el programa (software de reporte de la COA) no calcula el promedio es necesario hacerlo, 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 2.2-3. 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 (ver figura siguiente) y éste es el adecuado para tomar la información (es un equipo de combustión 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	LIMITE MAXIMO 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

[1] Concentraciones a 760mmHg 25°C y 5% de O₂
 [2] Concentraciones a condiciones de evaluación

Figura 21. 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.

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 22. 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 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 ($\text{kg}/\text{año}$, $\text{ton}/\text{año}$ 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 (reportados en la tabla 2.2 de la COA) y se aplican los pasos anteriores, así como las equivalencias de unidades necesarias (1,000L igual a un m³, 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/m³, 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/m³ 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 m³/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.

7. 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 23. 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 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.
2. Dentro de la literatura, encontrar el factor de emisión más adecuado para la estimación a realizar.
3. 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.

4. 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:

$$E_x = NA * FE * (1 - E)$$

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 en la siguiente figura.

Clave de equipo	Tipo de combustible	Combustible usado		Energía utilizada		Eficiencia EC		emisión kgCH ₄ etq/año
		(en unidades mostradas)	PC GJ/unidad	(GJ/año)	FE CH ₄ KgCH ₄ /GJ	fracción		
028 Caldera	Gas Natural (m ³)	211,345	0.03664766	7,745.30	1.00E-03	0.00	7.75	
029 Calentador	Diesel (m ³)	2,543,211	34.10725254	86,741,939.83	2.00E-04	0.00	17,360.00	

Figura 24. 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 tomaron 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 para el otro calentador.

Ejemplo 2.3-3a. Uso de factores de emisión para el cálculo de emisiones de COVs de una operación de recuperación de solventes

Como ya se ha visto, el uso de solventes en la industria es muy común, ya que permiten el transporte de materia, energía y sirven muchas veces de medio. Dada la importancia económica, técnica y ambiental de estos insumos, la recuperación de los solventes usados se hace indispensable. Este ejemplo, es el primero de una serie, que ilustran diferentes aspectos del cálculo y captación de la información requerida por la COA, se han colocado en el orden actual para que sigan la estructura de esta guía, los cálculos se pueden realizar en el orden que sea más adecuado para quien los haga, siempre y cuando estén bien hechos y la memoria de cálculo sea clara (en caso de ser necesaria).

La serie se compone de los ejemplos 2.3-3a, 2.3-3b, 2.3-3c y 2.3-3d (renombrado como 5.3-3 por ubicarse en la sección V y contribuir más a esa sección) para mostrar el uso de factores de emisión, balances de materiales, cálculos de ingeniería e información y cálculos de la prevención y manejo de la contaminación realizada en la empresa, además, cada ejemplo hace las menciones necesarias de donde se reportan los diferentes aspectos del cálculo planteado como ejemplo.

Nota técnica: El sistema de separación de esta mezcla de solventes puede llegar a ser relativamente complicado (de describir) dada las similitudes entre varias de las sustancias usadas como ejemplo, más allá de la complejidad de la separación y los costos que ella pudiera representar (no calculados para este ejemplo), lo importante es mostrar el uso de las diferentes técnicas de cálculo de emisiones y/o transferencias de contaminantes así como la forma de reportar la información obtenida. Algunos cálculos en sí implican supuestos técnicos válidos para hacer estimaciones, como los encontrados en el ejemplo 2.3-7c (básicamente considerar la mezcla con características ideales) por dar resultados cuyo margen de error es aceptable (para este caso al menos).

Supóngase una empresa del sector que utiliza solventes (probablemente una que trabaje con asbestos, resinas, plásticos etc.), tienen un sistema capaz de reciclarlos, la mezcla proveniente del proceso se detallada en la siguiente figura.

Q=	600,000.00 L	
Componente	x (frac peso liq)	componente
1	0.09	Benceno
2	0.11	Cloroformo
3	0.05	Tetracloruro de carbono
4	0.07	Ciclohexano
5	0.68	heptano
Total	1	
Temp		298 K

Figura 25. Detalle de la hoja de cálculo que contiene la Información sobre la mezcla de solventes a reciclar usada en el ejemplo de cálculo de emisiones

Los 600,000L de mezcla de solventes usados corresponden a 505,308kg ya que la densidad promedio de la mezcla es de 0.84218kg/L, ésta se carga a un sistema de destilación decantándolo (chapoteo) en el tanque de balance del evaporador primario a una temperatura promedio durante las operaciones del año de 298K (supuesto solo para el ejemplo, corresponde a 25°C).

Debido al manejo (verter el líquido al sistema) se han calculado emisiones de COVs de 342.86kg/año (el cálculo se hace en el ejemplo 2.3-7c), por lo que entran efectivamente al sistema 504,965.14kg, de éstos, se ha decidido utilizar un factor de emisión del manual técnico de estimación de emisiones para reciclado de solventes del “National Pollution Inventory” de Australia (NPI, 2010), para estimar cuanto de este material se libera a la atmósfera en el sistema de separación, concretamente del sistema de venteo del condensador.

El valor escogido para factor de emisión es el “promedio” correspondiente a 1.65kg/ton de mezcla de solventes cargada, mismo que se toma por no tener información suficiente para suponer que la operación se encuentra cercana a la valor mínimo (0.26kg/ton) o cercano al máximo (4.16kg/ton) (NPI, 2010). El cálculo es muy rápido, consiste en multiplicar los 504,965.14kg de la mezcla de solventes por 1.65kg/ton la operación es:

$$COV_{Dest} = FeM_{MS} = \left(\frac{1.65\text{kg}}{\text{ton}}\right) (504.96514\text{ton}) = 833.19\text{kg de COVs}$$

Para saber que compuestos están presentes en el venteo del condensador la torre, es necesario recurrir al conocimiento del proceso, puesto que es la etapa superior del sistema, la composición del venteo es en gran parte, el compuesto más ligero, que en este caso es el heptano con una densidad aproximada de 0.465kg/L, para este caso se ha supuesto que los productos obtenidos tienen una pureza del 99.99%, por lo que de los 833.19kg de COVs emitidos, 833.11kg corresponden a vapores de cloroformo ya que es el más volátil de todos, el resto (0.07kg) corresponden a pequeñas cantidades de los otros solventes.

Los 833.11kg de heptano se reportan en la tabla 2.3 en “otros”, los 0.07kg en COVs en la misma ya que no se tiene la composición exacta (para este ejemplo).

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:

$$\sum_{i=0}^m [a_0 + a_1x_1 - f(x_1)]^2$$

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:

$$a_0 = \frac{[\sum_{i=1}^m f(x_i)][\sum_{i=1}^m x_i^2] - [\sum_{i=1}^m x_i][\sum_{i=1}^m f(x_i)x_i]}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - [\sum_{i=1}^m x_i]^2}$$

$$a_1 = \frac{m[\sum_{i=1}^m f(x_i)x_i] - [\sum_{i=1}^m f(x_i)][\sum_{i=1}^m x_i]}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - [\sum_{i=1}^m x_i]^2}$$

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 2.3-4a y 2.3-4b. 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 26. 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 del 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 usa 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 figura se observa una gráfica con la comparación de los datos reales con el ajuste lineal realizado.

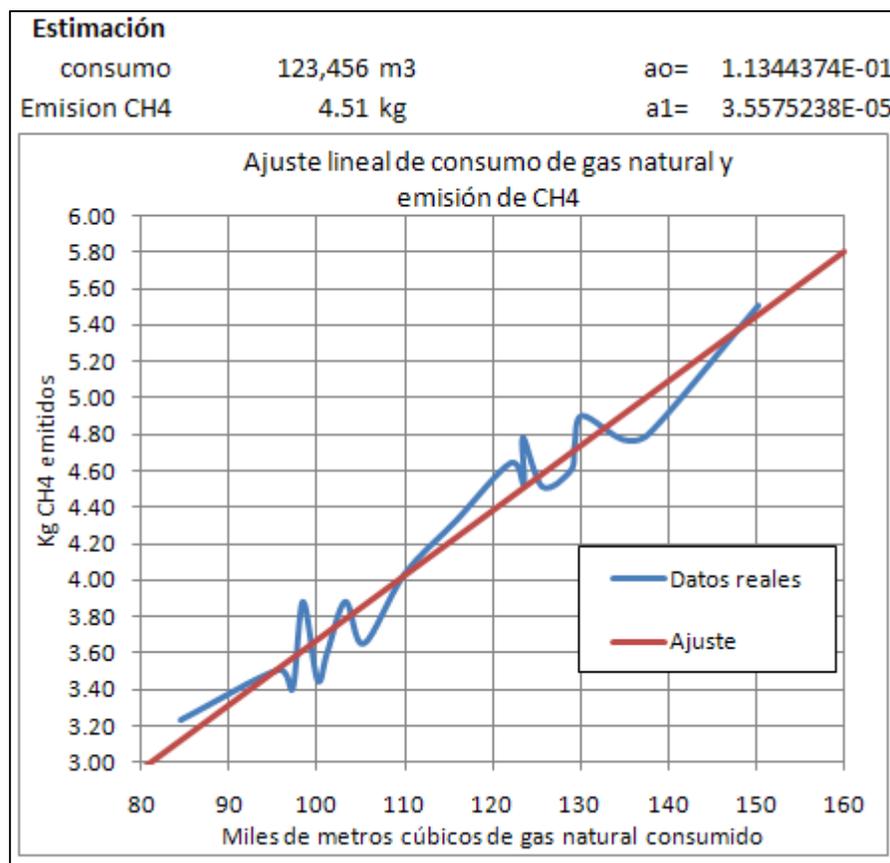


Figura 27. Comparación gráfica entre los datos reales usados para la regresión lineal y la ecuación obtenida para hacer las estimaciones. Usando 20 datos

Ya que se emiten menos de 100 toneladas en el año de reporte la emisión no deberá reportarse en la tabla 5.2 (supóngase que no hay otras emisiones de metano que considerar).

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 28. 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 del resultado son:

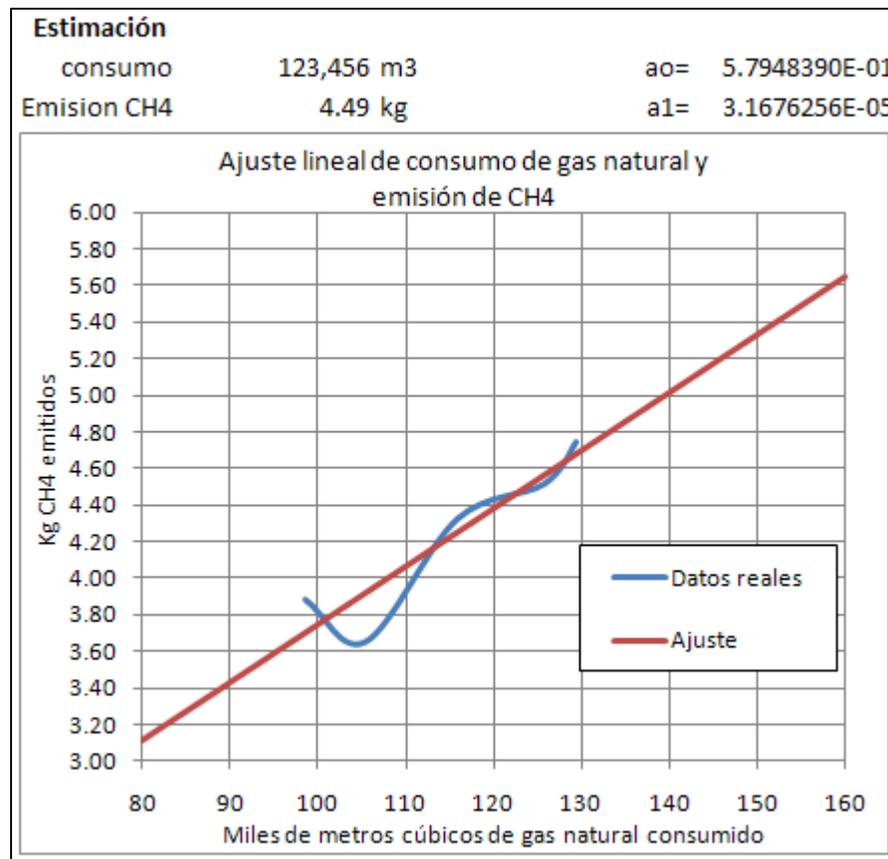


Figura 29. Comparación gráfica entre los datos reales usados para la regresión lineal y la ecuación obtenida para hacer las estimaciones, usando 5 datos

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 2.3-3b. Uso de un balance de materiales de la operación de recuperación de solventes para obtener información a reportar

Continuando con el caso del ejemplo 2.3-3a, la empresa del sector que recicla sus solventes. Para determinar la cantidad de productos aprovechables derivados de la

destilación de la mezcla de solventes usados, se hace un balance de materiales.

Se trataron 600,000L de mezcla de solventes usados, que corresponden a 505,308kg con una densidad promedio de 0.84218kg/L, de los cuales se emiten en el manejo como COVs 342.86kg/año (se especifica el cálculo en el ejemplo 2.3-3c) y otros 833.19kg/año de COVs por el venteo del condensador, de los cuales 833.11kg/año son de heptano (ejemplo 2.3-3a), además, se sabe la masa total y la pureza de los productos obtenidos (99.99%), con toda esta información, condensada en la siguiente figura se hizo el balance para calcular la cantidad de lodos producidos.

Componente	x (frac peso liq)	componente	P. Manejo	P. Venteo	Mtot prod	Cont i (9x4)	Impurezas	P. lodos
1	0.09	Benceno	52.19	0.02	45,414.81	45,410.27	4.54	10.70
2	0.11	Cloroformo	86.51	833.11	54,658.91	54,653.44	5.47	5.35
3	0.05	Tetracloruro de carbono	17.86	0.03	25,238.59	25,236.06	2.52	8.92
4	0.07	Ciclohexano	38.65	0.03	35,322.18	35,318.65	3.53	10.70
5	0.68	heptano	147.65	0.00	339,930.46	339,896.47	33.99	3,531.33
Total	1		342.86	833.19	500,564.95	500,514.89	50.06	3,567.00
								505,308.00

Figura 30. Imagen de la hoja de cálculo usada para el balance de materiales de la operación de recuperación de solventes para obtener información a reportar

Lo primero que se hace es calcular cuánto de la masa de cada componente está presente como impurezas, esto es fácil ya que la empresa sabe cuánto obtuvo de cada producto y el laboratorio ha dado la pureza, para el caso del benceno el cálculo es simple:

$$I_T^{\text{Ben}} = M_{\text{RP}}^T x_1^{\text{ben}} = (45414.81\text{kg})(0.0001) = 4.54\text{kg}$$

Puesto que el balance necesita identificar claramente la información disponible y diferenciarla entre sí, la notación incluye superíndices que indican a que corriente pertenece la información por ejemplo “RP” corresponde la mezcla de solventes usados que son en sí el residuo peligroso original. El “1”, de los subíndices, al producto 1 rico en benceno etc., 2 al producto 2 rico en cloroformo, “m” a manejo, “v” a venteo, “RP” al residuo original, “T” para total etc. los superíndices indican el compuesto del que se trata por ejemplo “Ben indica benceno”, las variables manejadas para este caso son M indica masa, “I” corresponde a impurezas, “x” corresponde a fracción peso en el líquido, “X” a fracción mol en el líquido, y a fracción peso en los vapores, “Y” a fracción mol en los vapores, “E” a una emisión.

Para un caso real, el usuario puede definir con completa libertad su notación siempre y cuando la haga clara en la memoria de cálculo para poderlo seguir en caso de ser necesario.

Consecuentemente la masa de benceno en el producto 1, será la diferencia de la masa total de éste menos el benceno presente en otros productos como impurezas (45,410.27kg), se hace lo mismo con los otros compuestos, los resultados están en

la columna de impurezas, mismas que al sumarse dan 50.06kg de material.

Ahora se procede a calcular la masa de cada compuesto presente en los lodos, que es igual a la cantidad de cada compuesto en el RP original, menos lo que de cada compuesto se emitió por manejo, venteo de condensador, está presente en el correspondiente en el producto y en las impurezas de todos ellos, para el benceno se tiene:

$$E_L^{\text{Ben}} = M_{\text{RP}}^{\text{T}} \times X_{\text{RP}}^{\text{Ben}} - E_{\text{m}}^{\text{Ben}} - E_{\text{v}}^{\text{Ben}} - M_{\text{I}}^{\text{Ben}} - I_{\text{T}}^{\text{Ben}} = 45,477.72 - 52.19 - 0.02 - 45,410.27 - 4.54 = 10.70 \text{kg}$$

Se hace lo mismo con los otros componentes, para obtener la masa total de lodos de la destilación (que es un residuo peligroso derivado de la destilación), que para este caso corresponde a 3,567kg. Las cantidades planteadas en el balance no necesariamente coinciden con un caso real de análisis de lodos, además parte de ellos son otras impurezas contenidas en la mezcla, mismas que para este ejemplo no se consideraron por simplicidad.

De esta operación se recuperaron 500,014.89kg como productos finales reutilizables los cuales contienen una masa total de 50.14kg de impurezas (otros solventes diferentes al de mayor abundancia), dando una masa total de productos de 500,564.95kg, si a la masa anterior se le suman las perdidas por manejo, por el venteo del condensador y en los lodos, se obtienen los 505,308kg de la mezcla original.

Para fines de reporte, el benceno, cloroformo y tetracloruro de carbono son sustancias RETC y los 3 productos que los contienen rebasan el umbral de uso o manejo que es de 5,000kg (para los tres) por lo que en la tabla 1.2 se captura la masa total del “insumo” que es 45,414.81kg para el caso del benceno y la masa del benceno contenido en él, que es de 45,410.27kg en la 5.1, se hace lo mismo con el resto de los productos y los resultados están en la figura anterior. Los dos productos que no son sustancias RETC (heptano y ciclohexano) se reportan solo en la tabla 1.2.

Si se tiene la especiación de las impurezas de cada producto (no es el caso del ejemplo presente), también es conveniente que se capturen en la 5.1 para cerrar el balance, además el umbral de uso ya ha sido rebasado (tan solo por los productos puros al 99.99%), si no se tiene la especiación de dichas impurezas, se puede usar el apartado de observaciones para aclarar que el 0.01% restante de los productos obtenidos (y antes referidos) consiste en pequeñas cantidades “no determinadas” de los otros solventes.

Para el caso de que la empresa, por alguna razón, no utilice la masa completa de los destilados de la mezcla de solventes y el sobrante se comercialice, la cantidad correspondiente se debe de reportar como producto en la tabla 1.3 y si éste contiene más de 5,000kg de una sustancia RETC también se reporta ésta en la 5.1.

En el reporte de la misma COA (misma empresa y año de reporte) debe de estar reportada la mezcla de solventes original (residuo original), en la tabla 4.1 debe de estar registrado el RP original puesto que se generó en la misma instalación, con una modalidad de manejo RS1 (destilación de solventes y compuestos), en la tabla 4.2 puesto que se guardó en el almacén temporal.

En la tabla 4.3 debe de estar el manejo de la mezcla de solventes (residuo peligroso), en esta última la misma empresa se coloca como generadora, dejando el espacio del transportista en blanco y en el “No de autorización” ubicado en la parte superior (no en la columna) se anota el número de oficio de la SEMARNAT que avala o reconoce dicha operación.

En la tabla 5.4.1 se debe de reportar la actividad que se realiza para disminuir las emisiones y transferencias, que en este caso es el reciclaje de un RP (mediante un tratamiento de separación física, concretamente una destilación fraccionada).

En la tabla 5.4.2 debe de estar la referencia sobre la disminución de las emisiones de solventes puesto que el tratamiento y reciclaje realizado por la empresa generadora es una forma de abatir la contaminación. (RS1, destilación).

Nótese que la masa de mezcla de solventes (RP original) y de sus componentes particulares, esta reportada en una parte de la COA como residuo peligroso (tablas 4.1, 4.2, 4.3, 5.2, 5.4.2) y como insumo y/o como producto (tablas 1.2 y/o 1.3, 5.1), la masa del RP original es la misma que está en los productos y/o insumos, esto es debido a la estructura del formato de reporte de la COA (al programa o “software”), al hacerlo de este modo, la empresa que reporta se comunica de tal modo que la SEMARNAT puede obtener la información que necesita e interpretarla de forma adecuada.

Además de las consideraciones anteriores, no olvidar que los lodos de la destilación deben de estar de nuevo reportados como RP generado en la instalación, usando las tablas 4.1, 4.2 ya que para este caso se transfiere a una tratadora (supuesto del ejemplo), 5.2 ya que contiene sustancias RETC y la suma total de las sustancias RETC manejadas en la empresa del ejemplo supera el umbral de emisión.

Nota legal. Para este caso, el de una empresa del sector sea generadora de residuos peligrosos y que a la vez los trate para recuperar un producto que se utiliza en la misma planta, es necesario hacer llegar a la SEMARNAT un informe técnico en donde la empresa le especifica a la SEMARNAT que proceso se lleva a cabo para lograrlo, esto con fundamento en el Artículo 57 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

Nota técnico legal. Para los casos en los que un material obtenido de un proceso de transformación que no sea el buscado (un subproducto) que esté clasificado como RP por la NOM-052-2005, en cualquiera de sus listados, integrados en la tabla 4.1a de la COA o en la tabla 4.1b o 4.1c de la misma, tendrán que manejarse como RPs para fines legales, de manejo y de reporte de la COA. Para el ejemplo anterior, el

residuo original, descrito como una mezcla de solventes, está clasificado como S2 en la tabla 4.1c por eso es que se tiene que manejar como un RP que es tratado y reaprovechado en la planta.

En el caso de que el subproducto obtenido NO hubiera sido clasificado por la ley como RP (tablas 4.1a, 4.1b y 4.1c) y la empresa no lo hubiera considerado tampoco como tal (previo análisis y caracterización) entonces no se le hubiera tenido que reportar en la COA como RP que fue tratado por destilación para regenerar los solventes “puros” que se utilizan como insumos o productos (si es que se comercializan por alguna razón), se le hubiera considerado como un subproducto o un residuo de manejo, según sea el caso.

Ejemplo 2.3-5. Estimación de emisiones de fibras de asbesto en la fabricación de autopartes que las incluyen a partir del balance de materiales

Para el cálculo de la cantidad de fibras de asbesto liberadas durante la fabricación de ciertas autopartes, muchas veces se recurre a los balances de materia, partiendo de la información de compras e inventario, junto con la especificación del producto y el conocimiento del proceso productivo. Supóngase que una cierta empresa del sector elabora autopartes usando asbesto (y otros materiales) presenta la siguiente información mostrada en la figura siguiente.

DATOS del proceso		DATOS del almacén y compras	
Peso de la pieza	0.251 kg	Asbesto utilizado (inventarios)	88.53 ton
Contenido de asbesto	0.331 fracción en peso	Asbesto contenido en colectores	5.11 ton
número de piezas hechas	1,000,000 unidades	Efectividad de los colectores	93.75%
Asbesto incluido en piezas	83.08 ton		
Asbesto emitido como PST			0.340 ton

Figura 31. Imagen de la hoja de cálculo con la información necesaria para el balance de materiales empleado para la estimación de las emisiones de asbestos

La empresa puede conocer, mediante un balance de inventarios, cuanto asbesto consumió durante el año de reporte, de las piezas fabricadas, se sabe el contenido en peso de las fibras de asbesto en la pasta ya hecha, así como el peso de cada pieza (final) y de los ingenieros del proceso productivo, se puede obtener o estimar (según el caso) la cantidad de de polvo de asbesto presente en los colectores.

Con el peso promedio de cada pieza, la fracción en peso de fibras de asbesto contenidas y el número de unidades fabricadas, se puede calcular la masa de asbesto total efectivamente integrada a la pieza, es decir:

$$(0.251\text{kg}) \left(\frac{1\text{ton}}{1,000\text{kg}} \right) (0.331)(1000,000) = 83.08\text{ton}$$

Para obtener la cantidad de asbestos liberados al medio ambiente, se procede a

hacer la resta del total de asbestos consumidos, menos los presentes en las piezas y los capturados en el sistema de control. La operación y el resultado es el siguiente:

$$\text{Emision de PST de asbeso} = 88.53\text{ton} - 83.08\text{ton} - 5.11\text{ton} = 0.340 \text{ ton}$$

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, GIBBSimgPROMS 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.

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 2.3-6a. Estimación de emisiones por especiación, caso I (composición de las emisiones igual a la del fluido conducido)

En muchos sectores industriales se manejan hidrocarburos, como combustibles, insumos, solventes y materias primas. Estos compuestos, muy útiles al hombre cuando están contenidos en procesos industriales y aplicaciones específicas, se convierten en contaminantes al ser liberados. En el manejo de hidrocarburos es común tener corrientes que son constituidas por componentes puros (o relativamente puros como el gas natural, usado como combustible) y otras que llevan una gran cantidad de componentes (combustibles líquidos, solventes, reactivos químicos por ejemplo), para 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 13. 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) generada en fuentes todas las fuentes (bridas, válvulas, sellos, etc.) fue de 8,240kg/año usando los factores de emisión de la USEPA para estimar emisiones fugitivas en la industria de manufactura de químicos orgánicos sintéticos.

Para estimar la emisión de metano se procede como ya se explicó:

$$E_{CH_4} = E_{TOC} \left(\frac{f_{CH_4}}{f_{TOC}} \right) = \left(8,240 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \left(\frac{0.95}{0.99} \right) = 7,907.07 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

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 2.3-6b. 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 solventes usados en ejemplos anteriores) 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 32. 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 33. 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 20.9589, 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 34. 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 emitidos a la atmósfera.

Ejemplo 2.3-3c. Cálculo de las emisiones de COVs por el manejo de una mezcla

de solventes usados

Continuando con el caso planteado en el ejemplo 2.3-3a. Para calcular las pérdidas por manejo de 600,000L de una mezcla de solventes utilizados, se parte de la siguiente información.

Q=		600,000.00 L
Componente	x (frac peso liq)	componente
1	0.09	Benceno
2	0.11	Cloroformo
3	0.05	Tetracloruro de carbono
4	0.07	Ciclohexano
5	0.68	heptano
Total	1	
Temp		298 K

Figura 35. Imagen de la hoja de cálculo con la información de composición de una mezcla de solventes cuyo manejo genera emisiones de COVs

Para poder realizar estos cálculos, adicionalmente se ha buscado información adicional, ésta se aprecia en la figura siguiente.

	Antoine			PM
	A	B	C	
Benceno	9.28069	2788.507	-52.36	78.00
Cloroformo	9.27523	2677.976	-45.75	119.36
Tetracloruro de carbono	9.34574	2860	-43.15	153.81
Ciclohexano	9.14099	2771.221	-50.287	84.00
heptano	9.27321	2919.943	-56.25	100.00

Figura 36. Imagen de la hoja de cálculo con la información consultada para el cálculo de emisiones por manejo de mezcla de solvente

Esta información consta de las constantes de la ecuación de Antoine para el cálculo de la presión de vapor y el peso molecular de cada componente.

A continuación se detalla la secuencia de cálculos tomando como ejemplo el benceno, considerado para este ejemplo como el componente número 1.

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 ($i=1$):

$$X_i = \frac{x_i \left(\frac{1}{PM_i}\right)}{\sum_1^n x_i \left(\frac{1}{PM_i}\right)} = \frac{0.09 \left(\frac{1}{78}\right)}{0.09 \left(\frac{1}{78}\right) + 0.11 \left(\frac{1}{119.36}\right) + 0.05 \left(\frac{1}{153.81}\right) + 0.07 \left(\frac{1}{84}\right) + 0.68 \left(\frac{1}{100}\right)} = 0.1150$$

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:

$$Pv_i = 100e^{A_i - B_i/(T+C_i)} = 100e^{9.28069 - 2788.507/(298 + (-52.36))} = 12.6020 \text{ kPa}$$

Se hace lo mismo con el resto de los componentes, con los resultados anteriores se calcula la presión parcial de cada componente, usando la ley de Raoult, para el caso del benceno el cálculo es:

$$Pp_i = X_i Pv_i = 0.1150 * 12.6020 \text{ kPa} = 1.4492 \text{ kPa}$$

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 9.5207 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:

$$Y_i = \frac{Pp_i}{Pv_T} = \frac{1.4492 \text{ kPa}}{9.5207 \text{ kPa}} = 0.1522$$

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 102.536.

Ya con todos los datos previamente calculados, se estima la emisión total por el manejo del solvente, se recurre a la siguiente ecuación:

$$COVs = \frac{S(0.1203)Pv_T PM_{pro} Q}{T} = \frac{(1.45)(0.1203)(9.5207)(102.536)(600 \text{ kL})}{298} = 342.86 \text{ kg/año}$$

En donde "S" es un factor de emisión obtenido para el tipo de operación de carga de la mezcla de solventes obtenido del manual técnico de estimación de emisiones para reciclado de solventes del "National Pollution Inventory" de Australia. (NPI, 2010). (Para este caso 1.45 para servicio normal de carga con chapoteo del manual técnico de estimación de emisiones para manejo de solventes). 0.1203 es un factor de conversión de unidades que incluye "kgmol*K/(kPa*1000L)", la presión de vapor de la mezcla en kPa, el peso molecular promedio de los vapores en kg/kgmol y la carga del líquido (mezcla) en miles de litros.

Los resultados se condensan en la siguiente hoja de cálculo, en donde además se hicieron de forma automática dada la facilidad que proporciona este instrumento para de esta forma de estimación de emisiones.

Componente	X (frac mol liq)	Pv (kPa)	Pp (kPa)	Y (frac mol gas)	PM avg	Em (kg/año)
1	0.114995349	12.6020	1.4492	0.1522	11.8725	52.19
2	0.09184873	26.1551	2.4023	0.2523	30.1170	86.51
3	0.032397802	15.3118	0.4961	0.0521	8.0142	17.86
4	0.083052196	12.9221	1.0732	0.1127	9.4687	38.65
5	0.677705923	6.0498	4.1000	0.4306	43.0637	147.65
Total		73.0407	9.5207	1.0000	102.5360	342.86

Figura 37. Imagen de la hoja de cálculo usada para resolver la estimación de las emisiones de COVs por el manejo de una mezcla de solventes usados

El uso del factor de emisión para la operación de carga evita tener que calcular coeficientes de transferencia de materia. En un ejemplo posterior se trabaja con éstos para dejar claro su uso en este tipo de cálculos.

Para este ejemplo, todas las emisiones se reportan en la tabla 2.3 ya que se generaron en la empresa y porque no se alcanza el umbral de emisión de las sustancias RETC (benceno, tetracloruro de carbono y cloroformo) que es de 1000kg/año, puesto que se tiene la especiación de los contaminantes se deben de reportar en otros.

Ejemplo 2.3-7. Cálculo de emisiones de un solvente mediante la estimación del coeficiente de transferencia de materia

En la industria en general, el uso de diversos compuestos químicos como solventes, insumos o materia prima es común. La estimación de factores de emisión es relativamente simple en comparación con el uso de modelos matemáticos que describen los fenómenos involucrados en la emisión del contaminante, en este caso, a la atmósfera, ya que requiere de más información y más detalle. Sin embargo, son capaces de proveer un estimado basado en las condiciones específicas del sitio y por ende, más preciso y exacto.

Para este ejemplo supóngase que se tiene, en alguna empresa del sector, un recipiente en donde hay contenido metanol, con una superficie expuesta de 0.35m² a 296K y con un viento de 6.2km/h. Además se conoce la presión de vapor del metano, equivalente a 13.16kPa.

El cálculo del coeficiente de transferencia de masa entre la fase líquida y la gaseosa se hace usando la siguiente ecuación, proporcionada por el Manual Técnico de Estimación de Emisiones (para la manufactura de explosivos en este caso) publicado por el Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (NPI, 2010).

$$K_{CH_4} = \frac{0.00438(0.62138V_v)^{0.78}(18/PM_{CH_4})^{1/3}}{3.2808}$$

Donde la K representa el coeficiente de transferencia de masa (en m/s), la "V" es velocidad, PM el peso molecular. Los subíndices especifican a que corresponde el valor de la variable. "CH₄" indica la especie, en este caso, metano, la "v" es viento (V_v es velocidad del viento promedio), "Tan" el tanque. La ecuación anterior con las debidas sustituciones de información queda como sigue:

$$K_{CH_4} = \frac{0.00438 \left(0.62138 \left(6.2 \frac{km}{h}\right)\right)^{0.78} \left(18 / \left(\frac{32kg}{kgmol}\right)\right)^{1/3}}{3.2808} = 0.0032 \frac{m}{s}$$

Ahora, se calcula la tasa de evaporación (emisión) del compuesto usando la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = \frac{PM_{CH_4} K_{CH_4} A_{Tan} P_{V_{CH_4}}}{RT} = \frac{\left(32 \frac{kg}{kgmol}\right) \left(0.0032 \frac{m}{s}\right) (0.35m^2)(13.16kPa)}{\left(8.314 \frac{kPam^3}{kgmolK}\right) (296K)} = 1.89 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Si se operó 8,000h en el año de reporte, entonces se emitieron 5,443.1552kg/año de metanol, que en este caso se reporta en la tabla 2.3 de la COA en "otros".

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.	
• Elección incorrecta de la región hidrológica	Ejemplo 3.1 Registro y cálculo de consumos de agua

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
de acuerdo a la ubicación del establecimiento • Selección errónea de unidades	
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 35 Imagen de una hoja de un estudio de caracterización de aguas residuales. (parámetros de la NOM-002-SEMARNAT-1996)</p> <p>Figura 36. 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>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
	<p>Ejemplo 3.2.3-1b. Cálculo de la emisión del contaminante a partir de los promedios de la concentración de cada uno</p> <p>Ejemplo 3.2.3-2. Balance de materiales en contaminantes presentes en agua de entrada vs agua de salida</p>

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 38. 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 39. 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 para el 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	A 1	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 Suspendidos 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 40. 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 41. 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

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 42. 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).

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).

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.

Para la correcta elaboración de esta sección, es importante recordar que existen varias tablas presentes en el instructivo para la elaboración de la COA (en el programa de reporte se activan al seleccionar la identificación o clave del residuo en la sección IV de la COA), con información de diferentes Normas Oficiales Mexicanas que clasifican las diferentes categorías de residuos peligrosos, como se puede ver en el siguiente recuadro:

Recuadro 14. Catálogo de claves del 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
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

Tabla	Contenido de la tabla o listado
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 38. 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 del sector generadora de residuos</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 de actividades de manejo de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-032), autorizaciones de manejo de residuos vigentes	

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<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 43. 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 de

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 mostrada en la siguiente figura:

Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		Identificación 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	Plan de manejo	Plan de Manejo
Productos Integrales de Asbesto	29-Ene-09	23-May-09	NE03							X				5,267	kg	NA	NA
Productos Integrales de Asbesto	05-Feb-09	01-Ago-09	NE03							X				5,453	kg	NA	NA
Productos Integrales de Asbesto	20-Mar-09	22-Jul-09	NE03							X				3,876	kg	NA	NA
Productos Integrales de Asbesto	15-Abr-09	05-Sep-09	NE03							X				3,799	kg	NA	NA
Productos Integrales de Asbesto	22-Jun-09	03-Nov-09	NE03							X				2,349	kg	NA	NA

Figura 43. Imagen de una hoja de cálculo usada como bitácora de registro de la generación de residuos peligrosos

Nota: La empresa “Productos Integrales de Asbesto” 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 del sector generadora de residuos

En la siguiente figura se resume la información colectada del almacén de residuos peligrosos de RPs generados en la instalación de la empresa generadora (en este caso, la compañía denominada “Asbestos Integrales de México” que es hipotética), así como el balance por año de entradas y salidas (parte de abajo) de la misma.

Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		Idnetificación del residuo											Generación	
	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Clave del residuo	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M	Cantidad	Unidad
Productos Integrales de Asbesto	29-Ene-09	23-May-09	NE03							X				5,267	kg
Productos Integrales de Asbesto	05-Feb-09	01-Ago-09	NE03							X				5,453	kg
Productos Integrales de Asbesto	20-Mar-09	22-Jul-09	NE03							X				3,876	kg
Productos Integrales de Asbesto	15-Abr-09	05-Sep-09	NE03							X				3,799	kg
Productos Integrales de Asbesto	22-Jun-09	03-Nov-09	NE03							X				2,349	kg
Productos Integrales de Asbesto	30-Ago-09	10-Ene-10	NE03							X				2,822	kg
Productos Integrales de Asbesto	08-Sep-09	13-Feb-10	NE03							X				4,098	kg
Productos Integrales de Asbesto	27-Oct-09	02-Abr-10	NE03							X				5,891	kg
Productos Integrales de Asbesto	11-Dic-09	29-May-10	NE03							X				4,889	kg
Productos Integrales de Asbesto	05-Ene-10	03-Jul-10	NE03							X				5,236	kg
Productos Integrales de Asbesto	12-Feb-10	03-Dic-10	NE03							X				5,679	kg
Productos Integrales de Asbesto	12-Feb-10	31-Dic-10	NE03							X				5,367	kg
Productos Integrales de Asbesto	05-May-10	31-Dic-10	NE03							X				5,278	kg
Productos Integrales de Asbesto	07-Ago-10		NE03							X				8,975	kg
TOTALES															
Nombre y #Reg generador	Transferencia de los residuos		Idnetificación del residuo											Generación	
	Año de gen	Año de salida	Clave del residuo	C	R	E	T	Te	Th	Tt	I	B	M	Cantidad	Unidad
Productos Integrales de Asbesto	2009	2009	NE03							X				20,744	kg
Productos Integrales de Asbesto	2009	2010	NE03							X				17,700	kg
Productos Integrales de Asbesto	2010	2010	NE03							X				21,560	kg

Figura 44. Imagen de la hoja de cálculo con información y cálculos sobre la generación y transferencia de residuos de la empresa “Asbestos Integrales de México” usada como ejemplo

En la parte de arriba se observan las entradas y salidas del residuo peligroso generado, con la fecha correspondiente de ingreso y salida del almacén de residuos peligrosos.

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
Productos Integrales de Asbesto	29-Ene-09	23-May-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	05-Feb-09	01-Ago-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	20-Mar-09	22-Jul-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	15-Abr-09	05-Sep-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	22-Jun-09	03-Nov-09	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	30-Ago-09	10-Ene-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	08-Sep-09	13-Feb-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	27-Oct-09	02-Abr-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	11-Dic-09	29-May-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	05-Ene-10	03-Jul-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	12-Feb-10	03-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	12-Feb-10	31-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	05-May-10	31-Dic-10	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	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
Productos Integrales de Asbesto	2009	2009	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	2009	2010	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México
Productos Integrales de Asbesto	2010	2010	TRP del norte	CA Carlos Bartolo	Transportes SA	TREPESA de México

Figura 45. 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 “Asbestos Integrales de México” usada para estos ejemplos

Como se ve en el ejemplo, la empresa tratadora, contratada por “Asbestos Integrales de México” 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 parte 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 de este ejemplo.

Nombre y #Reg generador	días	ID del residuo	#	TIPO		Caract del almacén		
		Clave del residuo		Alm	BT	I	Loc	VEN
Productos Integrales de Asbesto	115	NE03	1	X		LC	VN	IN
Productos Integrales de Asbesto	178	NE03	1	X		LC	VN	IN
Productos Integrales de Asbesto	125	NE03	1	X		LC	VN	IN
Productos Integrales de Asbesto	144	NE03	1	X		LC	VN	IN

Figura 46. Imagen de la hoja de cálculo usada como base de datos del almacén de RPs de la empresa generadora de residuos “Asbestos Integrales de México” usada para estos ejemplos. Parte de identificación del residuo y las características del almacén.

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
P. I de Asbesto	23-Jun-09	07-Jul-09	15		NE03	400	kg	CM
P. I de Asbesto	05-May-09	06-May-09	2		NE03	20	kg	CM

Figura 47. Imagen de la hoja de cálculo usada como base de datos del almacén de RPs de la empresa generadora de residuos “Asbestos Integrales de México” usada para estos ejemplos. Parte de la estimación de estancia en días en el almacén de RPs, masa del residuo y detalles de la forma de almacenamiento.

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 48. 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: Recolectión 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	T						e

Guardar | Nuevo renglón | Eliminar Renglón | Cancelar Cambios | Cerrar Ventana

Figura 49. 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. Las empresas que se dedican únicamente al transporte y recolección de RPs sólo 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, sólo 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% • Se reportan los gases de combustión 	<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>

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
<p>como “sustancias producidas”, los cuales se deben de reportar en la tabla 5.2</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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>	
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, 2010a), 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 transferencias de una sustancia RETC es 	<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>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	
<p>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</p>	
<p>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)</p>	
<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> <p>Ejemplo 5.3-3 (2.3-3d). Cálculo de las emisiones de COVs por el manejo de una mezcla de solventes usados. Emisiones de un derrame</p>
Tabla 5.4.1. Actividades de prevención de la contaminación en Sustancias RETC	
<p>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</p>	
<p>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</p>	
<p>Omisión del reporte de las actividades realizadas</p>	<p>Ejemplo 5.4.1-1. Actividades de prevención de la contaminación en una empresa que trata sus propios RPs</p>
Tabla 5.4.2. Reutilización, reciclado, coprocesamiento, tratamiento, incineración y control de sustancias dentro del establecimiento y/o disposición final	
<p>Información que se solicita: método, nombre del Residuo Peligroso o material, sustancias RETC contenidas, cantidad, clave del método, eficiencia estimada</p>	
<p>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</p>	

Errores más comunes (⚠️ aclaraciones pertinentes)	Formatos para recopilación de información y ejemplos de cálculo
identificación del tipo de control y/o proceso de manejo de las sustancias RETC con el porcentaje de 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 	
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 anejo 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 industrias que fabrican partes de fricción a partir de asbesto, se llegan a utilizar varias sustancias de la lista RETC, entre ellas el asbesto (crisotilo) como fibra de refuerzo, fenol y formaldehido, contenidos en resinas usadas para formar la pasta y otros aditivos que contienen anilina y acrilonitrilo.

En la siguiente figura, 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 del sector, que en su proceso, utilizó en el año de reporte, diversas materias primas con sustancias RETC.

Nombre comercial del insumo	Nombre Químico	Fecha de consumo	Clave o #CAS	F. Almacenamiento	Cantidad (insumo)	Unidad	Sustancia RETC	M. de uso	%W S. RETC	Cantidad (S. RETC)
Resina F25	Fenol	11-Ene-10	108-95-2	BP	30.23	ton	Si	Dir	42	12.70
Resina F25	Fenol	23-Jul-10	108-95-2	BP	31.00	ton	Si	Dir	42	13.02
Resina F25	Formaldehido	14-Ene-10	50-00-0	BP	30.23	ton	Si	Dir	20	6.05
Resina F25	Formaldehido	20-Jul-10	50-00-0	BP	31.00	ton	Si	Dir	20	6.20
Aditivo XE	Anilina	08-Ene-10	62-53-3	BP	2.10	ton	Si	Dir	0.95	0.02
Aditivo XE	Anilina	03-Jul-10	62-53-3	BP	2.05	ton	Si	Dir	0.95	0.02
Aditivo CM23	Acrlonitrilo	05-Ene-10	107-13-1	CM	0.55	ton	Si	Dir	33	0.1815
Aditivo CM23	Acrlonitrilo	07-Jul-10	107-13-1	CM	0.53	ton	Si	Dir	33	0.1749
Hilo de asbesto	crisotilo (asbesto)	01-Ene-10	1332-21-4	GT	123.11	ton	Si	Dir	85	104.64
Hilo de asbesto	crisotilo (asbesto)	14-Jul-10	1332-21-4	GT	125.23	ton	Si	Dir	85	106.45
Resina F25	Fenol	Balance	108-95-2	BP	61.23	ton	Si	Dir	42	25.72
Resina F25	Formaldehido	Balance	50-00-0	BP	61.23	ton	Si	Dir	20	12.25
Aditivo XE	Anilina	Balance	62-53-3	BP	4.15	ton	Si	Dir	0.95	0.04
Aditivo CM23	Acrlonitrilo	Balance	107-13-1	CM	1.08	ton	Si	Dir	33	0.36
Hilo de asbesto	crisotilo (asbesto)	Balance	1332-21-4	GT	248.34	ton	Si	Dir	85	211.09

Figura 50. 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, las 25.72ton de fenol totales se obtiene de multiplicar la cantidad total de resina F25 (61.23ton que van en la tabla 1.2) por la concentración en peso de fenol (42% en peso), la operación completa es:

$$\left(61.23 \frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) \left(\frac{42}{100}\right) = 25.72 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Se hace lo mismo con las otras materias primas y las demás sustancias RETC.

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 anilina, acrilonitrilo,

etc. 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 general 5.2 para determinar 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:
 - 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 hipotética 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	RP	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	RP	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	RP	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
formaldehido	Gases de combustión	Caldera	2.11	GN	255,367	m3	3.66E-02	1.20E-09	ton/m3 de GN	3.065E-04
formaldehido	Gases de combustión	Calentador	2.12	GN	103,212	m3	3.66E-02	1.20E-09	ton/m3 de GN	1.239E-04
formaldehido	Gases de combustión	Caldera	2.11	Diesel	2,434	m3	3.41E+01	3.96E-06	ton/m3 de D	9.634E-03
formaldehido	Gases de combustión	Calentador	2.12	Diesel	2,614	m3	3.41E+01	3.96E-06	ton/m3 de D	1.035E-02
formaldehido	COVs	Desde tanques	2.1		105	ton		8.10E-04	ton/ton	8.507E-02

Figura 51. 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: La importancia de este ejemplo es ubicar en donde se reporta cada fragmento de información, no como se hacen las estimaciones (para ello hay otros ejemplos), por lo que el escenario del ejemplo se hizo para mostrar todas las consideraciones que la SEMARNAT toma en cuenta para el reporte de la COA. Los

factores de emisión del Ni, Hg y As fueron fijados arbitrariamente solo para fines de este ejemplo (supóngase que la empresa del ejemplo los determinó para su caso particular, no deben ser usados para estimaciones verdaderas), 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 52. 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 emisión 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 también.

Algoritmo 5.2-2. Estimación 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 información de cada RP en documentos adecuados, por ejemplo en análisis de laboratorio (para conocer su composición).
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 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 emisión 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 emisión se puede optar por reportar el resultado del cálculo en la 5.2 o no hacerlo.

Ejemplo 5.2-2. Estimación de la sustancia RETC a partir del %W en el RP

Supóngase que una empresa del sector incluye una planta de tratamiento de aguas residuales (para sus propios efluentes). Para calcular la cantidad de níquel y mercurio presentes en los lodos de tratamiento de aguas se utilizó una hoja de cálculo, en la siguiente figura se muestra la información con la estimación correspondiente según el algoritmo antes descrito.

Generación					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	Níquel 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 53. 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 planta de productos de asbesto, se emitió a la atmósfera, durante el año de reporte, 27.45 kg de formaldehído entre la emisión por combustión y los COVs provenientes de resinas que lo contienen, esta cantidad no supera el umbral (100kg) y tendría que ser reportada en la tabla 2.3, sin embargo, hubo un derrame de resina y se estimó que se emitieron al suelo y a la atmósfera 300kg de este material, siguiendo con el planteamiento del algoritmo anterior, la emisión total (operación normal y anormal) es de 327.45 kg, por lo que los 27.45 kg emitidas durante la operación normal se reportan en la tabla 5.2 (no en la 5.3) y los otros 300kg 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, sin embargo la emisión normal se reporta en la tabla 5.2.

Si en el accidente se hubieran liberado solo 75kg, de todas maneras se tendría que reportar los 27.45 kg en la tabla 5.2 y los 75kg en la 5.3 ya que la suma rebasa el umbral.

Si en el accidente se hubieran liberado solo 40kg, entonces las emisiones en operación normal se reportan en la tabla 5.2 y los 40kg del accidente en la tabla 5.3 si el establecimiento así lo desea, otra alternativa es no reportar los 40 kg en la tabla 5.3 y en “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 a 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 54. 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/cm² 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	$0.42748(R^2)(T_{ci}^{2.5})/(P_{ci})$		31.792
bi	$0.08664(R)(T_{ci})/(P_{ci})$		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	$0.42748(R^2)(T_{cj}^{2.5})/(P_{cj})$		97.319
bj	$0.08664(R)(T_{cj})/(P_{cj})$		0.045
PM mezcla	$Y_1(P_{mi})+Y_2(P_{mj})$	g por mol	16.744
a _{ij}	$(a_i^{0.5})(a_j^{0.5})$		55.624
a _m	$(Y_i^2)a_i+(Y_j^2)a_j+2.Y_i.Y_j.a_{ij}$		34.220
b _m	$Y_i(b_i)+Y_j(b_j)$		0.031
A _m	$(a_m).P/(R^2.T^{2.5})$		0.192
B _m	$b_m.P/(R.T)$		0.073
C _m	$A_m-B_m-(B_m)^2$		0.114
Corrección de gas ideal por Z	$PV=ZNRT$	ninguna	ver MN
Ecuación cúbica de RK	$f(Z)=Z^3-Z^2+C_m.z-A_m.B_m=0$		ver MN
Derivada de la ecc de RK	$f'(Z)=3.Z^2-2.Z+C_m=0$		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 55. 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 56. 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 restandole 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.

Ejemplo 5.3-3 (2.3-3d). Cálculo de las emisiones de COVs por el manejo de una mezcla de solventes usados. Emisiones de un derrame

Continuando con los ejemplos de la serie 2.3-3. Supóngase ahora que hay un derrame de la mezcla de solventes usados y es necesario calcular la emisión correspondiente a la atmósfera mientras no se levanta el charco formado. Puesto que este ejemplo toma de base el 2.3-3c se parte de la misma mezcla de dicho problema.

Adicionalmente se considera (supone) que el derrame permaneció sin ser detectado una hora, más otra en lo que tardó el personal de la planta en responder y otra más que tardó en recuperar la mezcla. Por lo que el derrame tuvo una duración de 3h. La velocidad del viento (promedio) para el evento fue de 10km/h, la temperatura ambiente fue de 27°C (300K).

Si se considera que la mezcla tiene una composición como la dada en el ejemplo 2.3-7c y tomamos los cálculos realizados en dicho ejemplo para obtener la fracción mol de cada componente en el líquido, la presión parcial absoluta de cada componente (mediante la ecuación de Antoine) y el cálculo de la presión parcial de cada componente (mediante la ley de Raoult) como punto de partida, entonces solo falta estimar el coeficiente de transferencia de masa la emisión de cada componente. La siguiente figura muestra tanto la información de los cálculos previos como los propios de este ejemplo.

Comp.	X (frac mol liq)	Pv (kPa)	Pp (kPa)	Y (frac mol gas)	PM	Ki	Emisión
Benceno	0.114995349	12.6020	1.4492	0.1522	78.0000	3.404E-03	24.9940
Cloroformo	0.09184873	26.1551	2.4023	0.2523	119.3581	2.954E-03	55.0197
TC de carbono	0.032397802	15.3118	0.4961	0.0521	153.8108	2.715E-03	13.4541
Ciclohexano	0.083052196	12.9221	1.0732	0.1127	84.0000	3.321E-03	19.4472
heptano	0.677705923	6.0498	4.1000	0.4306	100.0000	3.134E-03	83.4517
Total			9.5207	1.0000	102.5360		196.3667
Velocidad del viento=		10.00 kg/h			R=	8.314 kPam ³ /(kgmol K)	
Área del derrame=		15.00 m ²			T=	300.00 K	
tiempo del derrame=		3 h					

Figura 57. Imagen de una hoja de cálculo en donde se aprecia la información de partida del cálculo de las emisiones de COVs por manejo de una mezcla de solventes, así como el resultado de éste.

La estimación del coeficiente de transferencia de masa se calcula según la siguiente ecuación:

$$K_i = \frac{0.00438(0.62138V_v)^{0.78}(18/PM_i)^{1/3}}{3.2808}$$

Donde la K representa el coeficiente de transferencia de masa (en m/s), la “V” es velocidad, PM el peso molecular. Los subíndices especifican a que corresponde el valor de la variable. “i” indica la especie química, la “v” es viento (V_v es velocidad del viento promedio). Para el caso del benceno, la ecuación anterior con las debidas sustituciones de información queda como sigue:

$$K_{CH_4} = \frac{0.00438 \left(0.62138 \left(15.00 \frac{km}{h} \right) \right)^{0.78} \left(18 / \left(\frac{78kg}{kgmol} \right) \right)^{1/3}}{3.2808} = 3.404 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Si se quiere mayor rigor en el cálculo, se tienen que utilizar coeficientes de difusión para cada especie química presente, sustituyendo el término $(18/PM_i)^{1/3}$ por el de $(Di/0.288)^{1/3}$, en el presente ejemplo se utilizó la primera forma, que es una estimación aceptable. Los coeficientes de difusión, dados en cm^2/s se pueden obtener de manuales de ingeniería (química) o de laboratorio aunque en ocasiones no están disponibles para todas las especies químicas manejadas en la industria.

Así como se mostró el cálculo anterior, se hace lo mismo para el resto de los componentes. Luego se calcula la emisión del evento, mediante la ecuación siguiente:

$$E_i = \frac{PM_i K_i A_{Der} P_v T_i}{RT}$$

Donde la E representa la emisión generada, PM el peso molecular, K el coeficiente de transferencia de masa, P_v la presión de vapor y T_i el tiempo del evento, el subíndice "i" representa a la especie iesima ("1" para benceno, "2" para cloroformo etc.) y el "der" indica "derrame". En caso de que haya varios eventos como este se hace necesario identificar cada uno. Para el caso del benceno. Para el caso del benceno, la ecuación anterior con las debidas sustituciones de información queda como sigue:

$$E_{CH_4} = \frac{\left(78 \frac{kg}{kgmol} \right) \left(3.404 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \right) (15.00m^2) (1.4492kPa) \left(3h \left(\frac{3600s}{h} \right) \right)}{\left(8.314 \frac{kPam^3}{kgmolK} \right) (300K)} = 24.994 \frac{kg}{evento}$$

Se hace lo mismo con los otros compuestos. Los resultados están separados por especie y juntos en un total. Puesto que el benceno, el cloroformo y el tetracloruro de carbono hay que evaluar si se sobrepasa el límite de uso y el de emisión (en todos los medios) para decir si se reportan las emisiones en la tabla 5.3 o en la 2.3. Las otras emisiones de los otros compuestos se reportan en la tabla 2.3 en otros pues están por separado. En la sección 5.2 se ven ejemplos que van enfocados principalmente a saber en donde reportar dentro de la COA más que a alguna metodología de cálculo, por lo que pueden ser útiles para esta cuestión administrativa del reporte de la COA.

Las ecuaciones para el cálculo del coeficiente de transferencia de masa entre la fase líquida y la gaseosa se tomó del Manual Técnico de Estimación de Emisiones (para la manufactura de explosivos en este caso aunque están presentes en otros

manuales también) publicado por el Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (NPI, 2010).

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, solamente 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 hace partes resistentes a la fricción y maneja asbestos, resinas, aditivos entre otros, está haciendo un esfuerzo por disminuir su impacto ambiental mediante la implementación de buenas prácticas de operación (BO), control de inventarios o técnicas de adquisición (CIN) y cambio de prácticas de limpieza (CPL). Las zonas en donde se llevan a cabo estas medidas son las de almacenamiento de insumos (AMP) y el proceso productivo (PP). 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 Fisico	Actividades de prevención	Área de aplicación
Resina F25	Fenol	108-95-2	LN	BO, CIN, CPL	AMP, PP
Resina F25	formaldehido	50-00-0	LN	BO, CIN, CPL	AMP, PP
Aditivo XE	Anilina	62-53-3	LN	BO, CIN, CPL	AMP, PP
Aditivo CM23	Acrlonitrilo	107-13-1	SS	BO, CIN, CPL	AMP, PP
Hilos de asbestos	Crisotilo (Asbestos)	1332-21-4	S	BO, CIN, CPL	AMP, PP

Figura 58. 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.

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 el % 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 cálculo 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 59. 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 1,034ng de dioxinas y los 826ng 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 los 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.

Operaciones de producción y uso que involucran asbestos en general

Recuadro 15. Factores de emisión de asbesto para diversas operaciones de obtención de las fibras y de productos que los involucran. Tomado de (SEDUE, 1987)

Operaciones (fuente de emisión)	Factor (kg/ton)	Observaciones
Minado (total sin controlar)	4-5	Muestreo de fuente no aplicable. Emisiones difusas por tonelada de asbesto producido.
Minado	1.5	Muestreo de fuente no aplicable. Emisiones difusas.
Carga	1	
Manejo	1	
Descarga	1	
Minado (total con 50 % de control)	2.5	
Molienda (sin control)	50	Muestreo no aplicable, 100% de control requerido desde 1978.
Molienda (filtros de bolsas de alta eficiencia)	5	Controles de 99.9-99.99 % de disminución, Canadá
Molienda y procesamiento	42.22	No se especifica el método de obtención de este factor
Fabricación de productos de asbesto cemento	8.08	Factor por tonelada de asbesto procesado asumiendo niveles de control comunes con filtros de bolsa
	0.016	
	2	No especifican grado de control
Tejas de pisos de asbesto-vinilo	0.08	Contenido de las tejas de 100-300 g de fibras de asbesto/kg, en un polímero formado principalmente de cloruro de vinilo y/o vinil acetato. Con control de filtros de bolsas
	2	Fuente sin control
	0.5	Fuentes controladas, sin especificar grados de control
<i>Productos de papel de asbesto y fieltro</i>		Estos productos contienen hasta 97% de asbesto
Proceso húmedo; fuentes principales: acabados corte en tiras	2	Operaciones sin controlar
	0.5	Operaciones controladas, no se especifica el grado de control
	0.08	Usando la mejor tecnología disponible (filtros de bolsas)
<i>Balatas y caras de clutch para uso pesado</i>		Se hacen de telas de asbesto de alta resistencia, reforzadas con alambres; este material se seca y se impregna con resinas, pero las balatas moldeadas son el mayor problema ya que se mezcla.

Operaciones (fuente de emisión)	Factor (kg/ton)	Observaciones
	0.45	
Mezclado en seco, operaciones de terminado	0.009	Fuentes controladas con filtros de bolsas en EU
	0.25	Controladas con filtros de bolsas
	0.16	Representativa de la situación europea

Recuadro 16. Factores de emisión para asbesto (crisotilo) para los Estados Unidos y Canadá en diversas operaciones y aplicaciones. Tomado de (NAS, 1977)

Proceso	Factor de emisión (g de asbesto emitido/kg asbesto usado)	
	Canadá	Estados Unidos
Producción		
Minería del asbesto	4.0	4.5
Molienda de asbesto	6.0	42
Manufactura		
Productos de cemento	0.075	0.5
Baldosa	0.075	0.5
Pavimento	0.075	-
Cubierta/sellado	0.075	0.5
Aislamiento	0.15	-
Materiales de fricción	0.45	3.0
Plásticos	0.075	-
Textiles	0.15	1.0
Papel	0.075	0.5
Misceláneos	0.075	0.5
Consumo		
Industria de la construcción	0.075	-
Aplicación de aislamiento	5.0	5.0
Revestimiento de frenos		
Instalación	5.0	5.0
Desgaste	20	5.0

Recuperación de solventes

En el recuadro siguiente se da información sobre las emisiones a la atmósfera de sistemas de recuperación de solventes.

Recuadro 17. 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)
		0.01 (0.002 - 0.04)
Tiro del tanque de almacenamiento	COVs	0.01 (0.002 - 0.04)
Tiro del condensador	COVs	1.65 (0.26 - 4.17)

Fuente de emisión	Contaminante	Factor de emisión ¹ promedio
		(kg/ton)
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 18. 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

Tipo de vehículo industrial	Factor de carga
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 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 cuadros 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 19. 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) ^a		
	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

Tipo de combustible	(MJ/kg) ^a			Miles de Btu/lb) ^a		
	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e
Combustóleo No.1	43-46	46		19-20	20	
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

Tipo de combustible	(MJ/kg) ^a			Miles de Btu/lb) ^a		
	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor Típico	Valor del IPCC ^e
en la biomasa						

Recuadro 20. 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

Tipo de combustible	(kg C/GJ)			(lb C/Millón Btu)		
	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC ^e
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
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	
<p>^a Seco a menos que se haga notar lo contrario.</p> <p>^b El valor puede verse afectado significativamente por el contenido de humedad del combustible</p> <p>^c El valor puede verse significativamente afectado por la fracción de aire, CO₂ y humedad en el gas.</p> <p>^d Se usaron capacidades caloríficas altas porque están más relacionadas al contenido de carbono que las capacidades caloríficas bajas</p> <p>^e Los valores del IPCC han sido convertidos de capacidades caloríficas bajas a las altas mediante una regla de dedo</p> <p>^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</p>						

Recuadro 21. 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%	

combustible/Tipo de tecnología	Intervalo	Valor típico	Valor del IPCC
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%	
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 22. 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				
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 23. 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		

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
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		
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)								

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
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 aguas ^c	0.67-1.2	0.9					0.042-0.076	0.056
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 24. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de incineración de desechos. Tomado de (PNUMA, 2005)

Cat	Subcat	Clas e	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	
								Cen.vol	Cen.de p
1			Incineración de desechos						
	a		Incineración de desechos sólidos municipales						
		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.de p
	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 25. 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	Escaza 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 SCCA con	3	0.06	ND	ND	ND
		2	postcombustión/retención del polvo	0.3	0.06	ND	ND	ND
	c		Plantas de producción de hierro y acero y fundiciones					
		1	Plantas de hierro y acero Chatarra sucia, pre tratamiento de la chatarra, controles limitados	10	ND	ND	NA	15

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		2	Chatarra limpia/hierro virgen, postcombustión y filtro de tela	3	ND	ND	NA	15
		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
		1	Fundiciones 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
		1	Plantas de galvanizado por inmersión en caliente 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	1	Producción de cobre 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 moldeo de Cu/aleaciones de Cu Cu primario, bien controlado, con alimentación de materiales secundarios	0.03	ND	NA	NA	ND
		5	Fundición primaria de cobre sin 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

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		3	Tratamiento la chatarra bien controlado, filtro de manga, inyección de cal Proceso optimizado para el abatimiento de PCDD/PCDF	5	ND	NA	NA	100
		4		1	ND	NA	NA	100
		5	Secado de virutas, raspaduras (plantas simples) Desengrasado térmico, horno rotativo, postcombustión, filtro de manga Plantas de aluminio primario puro	5	ND	NA	NA	NA
		6		0.3	NA	NA	NA	NA
		7		ND	NA	NA	NA	ND
	f	1	Producción de plomo Producción de Pb a partir de chatarra separadores de batería de PVC Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ algún SCCA Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos modernos, con depurador Producción de plomo primario	80	ND	NA	NA	ND
		2		8	ND	NA	NA	5
		3		0.5	ND	NA	NA	ND
		4		0.3	ND	NA	NA	ND
	g	1	Producción de zinc Horno sin ningún control de polvo Hornos de briquetado en caliente/rotativos, control básico Controles de contaminación completos, Fusión del zinc Producción de zinc primario	1,000	ND	NA	NA	ND
		2		100	ND	NA	NA	ND
		3		5	ND	NA	NA	ND
		4		0.3	ND	NA	NA	ND
		5		ND	ND	NA	NA	ND
	h	1	Producción de bronce y latón Eliminación térmica de aceites de las virutas Hornos de fundición simples Chatarra mezclada, hornos de inducción, filtros de tela	2.5	NA	NA	NA	NA
		2		10		NA	NA	ND
		3		3.5	ND	NA	NA	125
		4	Equipos sofisticados, como hornos de inducción con SCCA	0.1	ND	NA	NA	ND

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
	I	1	Producción de magnesio 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 térmica	3	ND	NA	NA	ND
	j	1	Producción térmica de metales no ferrosos (ej. Ni) Chatarra contaminada, simple o ningún SCCA	100	ND	ND	ND	ND
		2	Chatarra limpia, buen SCCA	2	ND	ND	ND	ND
	I	1	Trituradora (p.ej. automóviles) Plantas de desguaces de metales	0.2	NA	NA	ND	ND
	m	1	Recuperación térmica de cobre de cables 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 26. 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 (µg EQT/TJ)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
3			Generación de energía y calefacción					
	a	1	Centrales eléctricas de combustibles fósiles 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	2.5	ND	NA	NA	ND

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/TJ)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		4	aceite pesado					
		5	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	1	Centrales eléctricas de biomasa Calderas alimentadas por biomasa (ex. madera)	500	ND	NA	NA	ND
		2	Calderas alimentadas por madera limpia	50	ND	NA	NA	15
	c	1	Combustión de gas proveniente de rellenos sanitarios, biogás 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 27. 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	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg 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					

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		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 contaminados	0.2	NA	ND	ND	ND
		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 28. 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	Sub categorías 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					

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (μg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		1	Motores diesel	0.1	NA	NA	NA	ND
	d	1	Motores de aceite pesado Todos los tipos	4	NA	NA	NA	ND

Recuadro 29. 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	Sub categorías 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 30. 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	Sub categorías 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*					
		1	<i>Calderas (per tonelada de pulpa)</i> Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0.07				NA
		2	Calderas de cortezas solamente	0.2				50

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
			<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 (ClO ₂ , TLC)		ND		0.1	ND
		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-trichlorofenil-4'-nitrofenilo (CNP = cloronitrofen)					
			Antiguo 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

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
		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>					
		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 31. 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	Sub categoría	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 32. Factores de emisión para la estimación de emisiones de dioxinas y furanos en procesos de varios tipos. Tomado de (PNUMA, 2005)

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				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 33. 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 (µg EQT/t)				
				Aire	Agua µg TEQ/m ³	Suelo	Producto	Residuo µg TEQ/m ³
9			Manejo de desechos					
	a		Lixiviado de rellenos					
		1	Desechos peligrosos*	NA	0.2	NA	NA	50
		2	Desechos no 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					

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Vía posible de liberación ($\mu\text{g EQT/t}$)				
				Aire	Agua $\mu\text{g TEQ/m}^3$	Suelo	Producto	Residuo $\mu\text{g TEQ/m}^3$
9			Manejo de desechos					
		3	Sin evacuación de lodo	NA	0.002	NA	NA	100
			Con evacuación de lodo	NA	0.0005	NA	NA	100
			Plantas de tratamiento remotas y residenciales o modernas	NA	0.0001	NA	NA	10
	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					
		1 2 3	Compostado					
			Todas las fracciones orgánicas	NA	NA	NA	100	NA
			Desechos de jardín, cocina	NA	NA	NA	15	NA
			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 34. 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 ($\mu\text{g EQT/t}$)
10			Identificación de puntos calientes	
	a	1 2	Sitios de producción de sustancias orgánicas cloradas	
			Clorofenoles y derivados de PCB	
			Otras sustancias orgánicas cloradas	
	b	1 2	Lugares de producción de cloro	
			Con electrodos de grafito	
			Sin electrodos de grafito	
	c		Preparación de fenoles/plaguicidas clorados	
	d		Lugares de aplicación de plaguicidas contaminados por dioxina	
	e	1 2	Fabricación de madera	
			Con uso de pentaclorofenol, otros conservadores que contienen dioxina	
			Sin uso de PCP, no abiertos al medio ambiente	
	f	1	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
			Con derrames	

Cat.	Subcat.	Clase	Sub categorías de fuentes	Producto (µg EQT/t)
		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 algunos 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 35. 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 $\frac{1}{2}$ del LMD para cada valor DLD siempre y cuando el $\frac{1}{2}$ del LMD es igual o menor al dato más alto de la colección. Cuando el $\frac{1}{2}$ 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:

$$G = \frac{\text{MAX}_1^N |Y_i - Y_{\text{Avg}}|}{s}$$

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 precisión 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 36. 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 de 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 numero 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 ($t_{\text{prueba}} \leq t_{\text{crítica}}$) 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 DE ASBESTO

De la recopilación de información de procesos y operaciones conexas utilizadas en el sector de asbesto, se obtiene el siguiente recuadro que resume la generación de contaminantes y su correspondiente emisión a diferentes medios.

Recuadro 37. Resumen de la generación de contaminantes, el medio al que se emiten y presencia de sustancias RETC, en la industria del asbesto

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
EXTRACCIÓN DE ASBESTOS				
Perforación y demolición de la <i>roca madre</i>	Asbesto, gases de combustión ²	Sólidos, metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb)	Residuos de baterías, ácido sulfúrico, lubricantes, aceites, fluidos hidráulicos.	Asbesto, CO ₂ , NO ₂ , benceno, formaldehído, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb
Carga y transporte	Asbesto	Fluidos hidráulicos		Asbesto
Trituración				
Secado y almacenamiento	Asbestos. Gases de combustión ⁹ , asbesto		Cenizas	Asbestos
Tamiz y rodillos	Asbestos			
Recuperación de fibra y desecho de minerales	Asbestos, metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb)	Partículas capturadas (asbestos, metales pesados)	Residuos de minerales (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb), asbestos	Asbestos, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb
Separación de fibras	Asbestos			Asbestos
Filtros	Asbestos			Asbestos
Bandas transportadoras	Asbestos			Asbestos
Embalaje	Asbestos			Asbestos
Depósito y disposición de minerales de desecho	Asbestos		Asbestos	Asbestos
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE ASBESTOS-CEMENTO				
Desembolsado	Asbestos	Asbestos	Asbestos	Asbestos
Desfibrado				
Preparación de la pasta	COV (fenol), PST (asbesto)			Asbestos, fenol
Formación de lámina y tubo	Asbesto, solventes			Asbestos
Curado	Gases de combustión ⁹			Asbestos
Terminado	Asbesto	Sólidos, asbesto		Asbestos
Acabado	COV (fenol), PST	Sólidos suspendidos,	Residuos con asbesto,	Asbestos,

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
	(asbesto, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb)	metales pesados	minerales con metales pesados	fenol, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb
Reciclado	Asbesto			Asbestos
FABRICACIÓN DE HILOS DE ASBESTO				
Mezcla y extrusión (proceso húmedo)	COV (fenol) y resinas			Fenol
Cardado	Asbesto			Asbesto
Hilado				
Cordado				
Horneado	Gases de combustión ²			
FABRICACIÓN DE PIEZAS DE FRICCIÓN				
Desembolsado Desfibrado	Asbesto	Asbesto	Asbesto	Asbesto
Preparación de mezcla	COV (fenol, acrilonitrilo, anilina, metanol, formaldehído), PST (asbesto)	Cianuros, restos de solventes y resinas (DQO)	Residuos de materiales (resinas, solventes, asbestos)	Asbesto, fenol, cianuros, anilina, formaldehído, acrilonitrilo
Prensado	Asbestos, COVs de solventes (fenol, acrilonitrilo, anilina, metanol, formaldehído)	Cianuros		Asbesto, fenol, cianuros, anilina, formaldehído, acrilonitrilo
Extrusión	COVs de solventes (fenol, acrilonitrilo, anilina, metanol, formaldehído)	Cianuros		Fenol, cianuros
Terminado	Asbesto	Sólidos, asbesto		Asbesto
Acabado	COV (fenol, acrilonitrilo, anilina, metanol, formaldehído), PST (asbesto)	Sólidos suspendidos, metales pesados		As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, fenol, Asbesto, cianuros, anilina, formaldehído, acrilonitrilo
SERVICIOS AUXILIARES				
Zonas de almacenamiento	COVs, COTs, noCOVs, CIVs, otros gases	Fugas, derrames	Fugas, derrames	
Transporte de compuestos orgánicos y otros	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
Planta desmineralizado			Lodos de desmineralizado (sales,	

Etapa del proceso	Aire	Agua	Residuos sólidos y peligrosos	RETC
ra de agua			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 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 , morfolina, 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 , morfolina, benzotiazoles, etanolaminas, fosfatos, molibdatos etc.	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, 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. Equipos contaminados de diversa índole (BPC, asbestos, etc.)	CO ₂ , Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, asbestos, dioxinas y furanos, BPC (entre otros según aplique)
Servicios generales		Aguas municipales (DQO)	Residuos sólidos municipales	
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	

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.
- 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, 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.
 - 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 se dan más detalles.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - En instalaciones que manejan sustancias 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.
 - 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.
 - 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.
 - El servicio de mantenimiento puede generar además, los contaminantes propios de la industria a la que pertenezca.
 - El término “asbestos” incluye una familia de materiales cuya definición se encuentra en la descripción general de los procesos del sector.
 - 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.

Recuadro 38. 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	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , 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	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , HCT (parafinas C7-C16, metano , etano, n-pentano), arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Combustóleo pesado	Líquido	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , HCT (acroleína ¹ , metano , n-butano, hexano, formaldehido , acetona), arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
Combustóleo ligero	Líquido	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , HCT (metano , n-butano, hexano, formaldehido , acetona)
Diesel	Líquido	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , HCT (formaldehido , 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	CO ₂ , CO, NO _x , HCT (metano , etano, etileno, propeno, acetileno, benceno)

Combustible	Estado de agregación	Contaminantes generados
Gas natural	Gaseoso	CO ₂ , CO, NO _x , HCT (metano , n-butano, isómeros de pentano, formaldehido , n-pentano, propano, benceno , tolueno, ciclohexano, isómeros de hexano)
Gas de refinería	Gaseoso	CO ₂ , CO, NO _x , HCT (n-butano, etano, propano, n-butano, propeno, formaldehido , 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 “NO_x” 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 NO_x 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 NO_x emitidos de calderas corresponde a NO₂ (INE-SEMARNAT, 2005), o bien que el 5% en procesos de combustión (USEPA, 2008).

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 de asbesto

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 y de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica sobre la producción de asbestos y asbesto cemento.

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 algunos de los procesos descritos en este documento.

EXTRACCIÓN, MANEJO, USO, PRODUCCIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS CON ASBESTOS

Como ya se ha comentado, los asbestos son materiales con excelentes propiedades para muchas aplicaciones industriales aunque con aspectos ambientales y de salud laboral considerables, aunque estos aspectos no deseados disminuyen considerablemente con un manejo adecuado de los materiales y productos que lo contienen. De forma general, las áreas de oportunidad de desempeño ambiental de este sector son:

1. Emisión de partículas de asbesto.

2. Disposición adecuada de materiales (desechos) que contienen asbesto.
3. Sustitución de asbestos.

Para mejorar en las áreas anteriores, se tienen las siguientes recomendaciones generales:

1. **Utilizar un buen material base que atrape a los asbestos.** Dado que las fibras de asbestos son liberadas cada vez que hay un proceso mecánico, el encontrar un material que los contenga y atrape, uniéndolos a su seno. El uso de agentes de unión en la matriz de materiales es también una opción, ya que estos aditivos ayudan a unir las fibras y no permitirles salir del producto que conforman. Algunos de estos materiales son los elastómeros, hules, resinas artificiales, polímeros diversos entre otros.
2. **Operaciones en base húmeda.** En muchos casos, la emisión de fibras de asbesto se puede minimizar mucho al usar procesos que involucren algún líquido que impida que las fibras se volatilicen. Esto puede aplicarse a la elaboración de productos de asbesto cemento, de hilos de asbesto, productos resistentes a la fricción, filtros, entre otros. Sin embargo, después del secado, los materiales que quedan en las herramientas y equipos de proceso tienden a liberar más fibras, por lo que es necesario aplicar las medidas de seguridad e higiene laboral necesarias.
3. **Áreas cerradas de trabajo.** Otra forma de controlar las emisiones durante las actividades industriales es mediante el uso de áreas cerradas que no permitan que las fibras de asbestos invadan el resto del área laboral ni que ocasionen problemas fuera de ésta. Estas áreas requieren de que los asbestos se traigan en sacos de material resistente (para evitar rasgaduras o aperturas no deseadas) sellados, estar equipadas con sistemas de apertura y transporte interno automáticos, los agentes de unión para disminuir los asbestos libres durante el procesado deben también de adicionarse de forma adecuada. El encapsulamiento de las operaciones discontinuas (estampado automático, procesado mecánico, prensado etc. según el caso) es más complicado pero también es posible y ayuda significativamente.
4. **Buenas prácticas de cuidado del área de trabajo** que permiten eliminar residuos de asbestos que después pudieran volatilizarse, especialmente en áreas de trabajo con estos materiales y equipos cerrados o encapsulados. El uso de equipo de protección y de limpieza es indispensable, además, se debe de promover la conciencia en los trabajadores y llevar las tareas bajo una adecuada supervisión por personal capacitado.
5. **Uso de sistemas de vacío cerca del punto de origen.** En casos en donde no es posible usar materiales o aditivos de unión de fibras (como en la fabricación de algunas autopartes, juntas, sellos entre otros), entonces el uso de un sistema de vacío adecuadamente diseñado y sobre los puntos de emisión es la mejor alternativa. Si el uso de vacío no es adecuado, entonces un buen sistema de

ventilación y captura de fibras debe de instalarse, en el caso de prensas y maquinas de estampado, se debe de poner especial atención al mantenimiento y limpieza ya que estas operaciones no se hacen adecuadamente con vacío, también hay que evitar que el personal no labore en la corriente de aire contaminado. En todo caso, se debe de evitar la acumulación de fibras de asbesto en las áreas de trabajo y equipos.

6. **Limitar las áreas en donde puede haber emisiones de asbestos.** Ya que no es posible que un área de trabajo con estos materiales esté completamente libre de asbestos, es una buena práctica limitarlas (aislarlas de preferencia) y etiquetarlas adecuadamente para evitar que áreas vecinas se contaminen. El uso de equipo de control en estas áreas se considera obvio (filtros, ciclones, precipitadores etc.).
7. **Equipo personal de respiración.** Si la pureza del aire en una zona de trabajo no puede alcanzarse a través de las medidas anteriores, entonces los trabajadores deberán llevar sistemas de respiración de protección personal. Esta medida no debe considerarse como permanente.
8. **Recolección de fibras y disposición en vertedero.** Las fibras capturadas por los sistemas de control y otros materiales que contienen asbestos se deben guardar en contenedores adecuados que también sirvan para el transporte. Para la disposición final se deben usar vertederos autorizados y adecuados, con los debidos permisos y disposiciones de la autoridad competente.
9. **Técnicas de abatimiento de emisiones de asbestos y disposición de materiales que los contienen.** Antes de aplicar cualquier técnica, primero debe de estar claro si estos materiales están presentes y en qué grado. Este aspecto aparentemente trivial frecuentemente es un problema en la práctica al investigar sitios de trabajo viejos, dado que en algunos casos (y en algunos países), no se cuenta con un buen apoyo de laboratorios especializados, es recomendable analizar los materiales del lugar/construcción. Una inspección visual por personal bien entrenado y equipo es recomendado como primera determinación de materiales con asbestos. Se debe poner especial atención a materiales fibrosos quebradizos y particularmente a los llamados “asbestos rociados” (sprayed asbestos) que son materiales blancos grisáceos, grises o grises azulados suaves que pueden ser deformados con el dedo (son especialmente peligrosos, están prohibidos). Otros conocimientos detallados de materiales de construcción que puedan contener asbestos es deseable.
10. **Manejo adecuado de residuos con asbestos.** Los materiales que puedan liberar asbestos deben de manejarse como residuos peligrosos, deben de manipularse con cuidado de no romperlos o de ocasionar la liberación de las fibra, en lo posible se deben de encapsular y llevar a instalaciones en donde puedan ser manejados adecuadamente lo que debe de asegurar que las fibras no salgan al medio ambiente posteriormente (encapsulación con un agente de unión y/o cemento, manejo en base húmeda, transporte en contenedores

sellados).

11. **Uso de sustitutos en donde es posible hacerlo.** Actualmente existe toda una gama de materiales que pueden sustituir a los asbestos en diversas aplicaciones. La sustitución debe de ser revisada en cada caso, de forma general, se cuentan con los siguientes sustitutos:

- Fibras inorgánicas como la wollastonita, attapulgit, septiolita.
- Fibras naturales como el algodón, celulosa, lino, cáñamo, henequén.
- Fibras sintéticas como las poliaramidas, polipropilenos, poliacrilatos, poliacrilnitratos, poliésteres, politetrafluoroetileno, viscosa (es semi sintetica), policarbonatos, entre otros.
- Fibras minerales aislantes como lana de vidrio, lana mineral, lana cerámica, fibras textiles de vidrio, titanato de polipotasio, fibra de ácido silícico.
- Otros materiales de vidrio como el A, C, D, E, R y Z.
- Otros materiales como aceros, otras fibras de carbón, otros cerámicos, carburo de silicio, otros materiales cristalinos.

Los materiales anteriores pueden suplir a los asbestos en aplicaciones como protección contra fuego, aislamiento térmico, materia prima para elementos estructurales y de construcción, productos de fricción. Cada sustitución tiene sus ventajas y desventajas, mismas que se deben de evaluar y tomar en cuenta para la aplicación en particular y para aspectos ambientales, de seguridad y salud ocupacional.

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 aplican, 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 de 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 de 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 de 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 de situar por arriba del nivel del suelo para que las fugas se puedan detectar rápidamente y atenderse con de forma efectiva. Si se usan tuberías o sistemas de conducción subterráneos, se debe de 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 movible, combinados, entre otros.
5. Utilizar medidas primarias de desulfuración como absorbentes como CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃ 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 H₂O₂, álcalis, NH₃, 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, ClO₂, O₃ 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, SOx y NOx 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 CO₂ 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 CO₂ 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 contraincendios 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, pavimentado 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).

ANEXO IV

REGULACIÓN Y NORMAS APLICABLES

Como se ha podido observar. La industria del asbesto proporciona al mundo actual materiales cuyas propiedades son muy valiosas por lo que, pese a su impacto en la salud y medio ambiente (que es reducido si hay un manejo adecuado de los materiales y productos), se siguen utilizando, en México, no existe una norma o regulación específica y las que se aplican a sus actividades son generales para la industria. En el recuadro siguiente se muestra el nombre de las normas, el campo de aplicación, los parámetros normados y las observaciones pertinentes de las normas que regulan la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Recuadro 38. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al sector de asbesto 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	- 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% O ₂ 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

Para cuestiones de salud laboral se debe de atender a la NOM-125-SSA1-1994 que establece los requisitos sanitarios para el proceso y uso de asbesto.

En cuando a las emisiones al agua, el siguiente recuadro resume las normas aplicables al sector del asbesto (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 39. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al sector de asbesto para emisiones de contaminantes al agua

Norma	Campo de aplicación	Parámetro normado	Unidad	Observaciones
NOM-001-	Descargas	Temperatura	°C	-La frecuencia de muestreo depende de las

Norma	Campo de aplicación	Parámetro normado	Unidad	Observaciones
SEMARNAT-1996	de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	Potencial hidrógeno	pH	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 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
		Grasas y aceites	mg/L	
		Materia flotante		
		S. sedimentables		
		S. suspendidos totales		
		DBO ₅		
		Nitrógeno total		
		Fósforo total		
		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
		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 40. 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	0.000022
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 41. 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 42. 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 43. 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 44. 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 45. 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	Fabricación, proceso o uso (kg/año)	Emisión (kg/año)	Nueva
1	1,1,2,2-tetracloroetano	79-34-5	5,000	500	
2	1,1,2-tricloroetano	79-00-5	5,000	1,000	
3	1,1-dicloro-1-fluoroetano (HCFC-141b)	1717-00-6	5,000	1,000	
4	1,1'-dimetil-4,4'-bipiridinio	4685-14-7	2,500	100	SI
5	1,1-metileno bis(4-isocianato de ciclohexano)	5124-30-1	5,000	100	SI
6	1,2,4-triclorobenceno	120-82-1	5,000	1,000	
7	1,2,5,6,9,10-hexabromociclodecano	3194-55-6	5,000	1,000	SI
8	1,2-diclorobenceno	95-50-1	5,000	1,000	
9	1,2-dicloroetano	107-06-2	5,000	1,000	
10	1,2-dicloropropano	78-87-5	5,000	1,000	SI
11	1,3-dicloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropano (HCFC-225b)	507-55-1	2,500	1,000	
12	1,3-dicloro-5,5-dimetilhidantoína	118-52-5	5,000	500	SI
13	1,4-diclorobenceno	106-46-7	5,000	500	
14	1-cloro-1,1-difluoroetano (HCFC-142b)	75-68-3	5,000	1,000	
15	2,2,4-trimetilhexametileno diisocianato	15646-96-5	5,000	100	SI
16	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano (HCFC-123)	306-83-2	5,000	1,000	
17	2,3,3-trimetil-3H-indol	1640-39-7	5,000	1,000	SI
18	2,3,4,6-tetraclorofenol	58-90-2	5,000	1,000	
19	2,4,4-trimetilhexametileno diisocianato	16938-22-0	5,000	100	SI
20	2,4,5-triclorofenol	95-95-4	2,500	1,000	
21	2,4,6-tricloro-1,3,5-triazina	108-77-0	5,000	500	SI
22	2,4,6-triclorofenol	88-06-2	2,500	1,000	
23	2,4-dinitrotolueno	121-14-2	5,000	100	
24	2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano (HCFC-124)	2837-89-0	5,000	1,000	
25	2-etoxietanol (Éter monoetílico del etilenglicol)	110-80-5	2,500	100	
26	2-fluoroacetamida	640-19-7	5,000	500	SI
27	2-nitropropano	79-46-9	2,500	100	
28	3,3-dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano (HCFC-225ca)	422-56-0	2,500	1,000	
29	4,4'metileno-bis (2-cloroanilina) (MBOCA)	101-14-4	2,500	500	SI

30	4,6-dinitro-o-cresol	534-52-1	2,500	100	
31	4-alilveratrol	93-15-2	5,000	500	SI
32	4-amino difenilo	92-67-1	2,500	500	
33	4-dimetilaminoazobenceno	60-11-7	5,000	500	SI
34	4-nitrodifenilo	92-93-3	2,500	500	
35	Acenafteno	83-32-9	5,000	1,000	SI
36	Acetaldehído	75-07-0	2,500	100	
37	Acetato de vinilo	108-05-4	5,000	500	SI
38	Ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) acético	94-74-6	2,500	500	SI
39	Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2, 4-D)	94-75-7	2,500	100	
40	Ácido dicloroacético	79-43-6	5,000	1,000	SI
41	Ácido sulfhídrico	7783-06-4	2,500	500	
42	Ácido sulfónico de perfluorooctano y sus sales	1763-23-1	5	10	SI
43	Acrilamida	79-06-1	2,500	100	
44	Acrilonitrilo	107-13-1	2,500	100	
45	Acroleina	107-02-8	2,500	100	
46	Aldrin	309-00-2	5	10	
47	Alfa endosulfan	959-98-8	5,000	1,000	SI
48	Anilina	62-53-3	2,500	500	
49	Antimonio trióxido	1309-64-4	5,000	500	SI
50	Arsénico	7440-38-2	5	1	
51	Asbesto y sus formas	1332-21-4	5	1	
52	Azida de sodio	26628-22-8	2,500	500	SI
53	Benceno	71-43-2	2,500	500	
54	Bencidina	92-87-5	2,500	100	
55	Bensulida	741-58-2	5,000	500	SI
56	Benzo(a)antraceno	56-55-3	50	5	SI
57	Benzo(a)pireno	50-32-8	50	5	SI
58	Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	50	5	SI
59	Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	50	5	SI
60	Berilio	7440-41-7	2,500	1,000	SI
61	Beta endosulfan	33213-65-9	5,000	1,000	SI
62	Beta-naftilamina	91-59-8	50	100	
63	Bifenilo	92-52-4	2,500	500	
64	Bifenilos policlorados	1336-36-3	5	0	
65	Bifentrina	82657-04-3	2,500	100	SI
66	Bióxido de carbono	124-38-9		100,000	
67	Bióxido de nitrógeno	10102-44-0		100,000	

68	Bromoclorometano	74-97-5	5,000	1,000	SI
69	Bromoformo	75-25-2	2,500	500	
70	Bromoxynil	1689-84-5	5,000	1,000	SI
71	Bromuro de metilo	74-83-9	5,000	1,000	
72	Butadieno	106-99-0	2,500	100	
73	Cadmio	7440-43-9	5	1	
74	Carbofenotio	786-19-6	2,500	100	SI
75	Cialotrin	68085-85-8	2,500	500	SI
76	Cianuro de hidrógeno	74-90-8	2,500	100	SI
77	Cianuros inorgánicos/orgánicos	57-12-5	2,500	100	
78	Clordano	57-74-9	5	10	
79	Clorhexidina	55-56-1	2,500	100	SI
80	Cloroacetato de etilo	105-39-5	5,000	1,000	SI
81	Clorobenceno (mono clorobenceno)	108-90-7	5,000	1,000	
82	Clorodifluorometano (HCFC-22)	75-45-6	5,000	1,000	
83	Clorofacinona	3691-35-8	5,000	1,000	SI
84	Cloroformo	67-66-3	5,000	100	
85	Clorometano	74-87-3	5,000	1,000	
86	Clortalonil	1897-45-6	2,500	100	SI
87	Clorpirifos	2921-88-2	2,500	100	SI
88	Cloruro de metileno	75-09-2	5,000	500	
89	Cloruro de talio	7791-12-0	2,500	500	SI
90	Cloruro de vinilo	75-01-4	2,500	100	
91	Compuestos de arsénico	C/As	5	1	
92	Compuestos de cadmio	C/Cd	5	1	
93	Compuestos de cromo	C/Cr	5	1	
94	Compuestos de mercurio	C/Hg	5	1	
95	Compuestos de níquel	C/Ni	5	1	
96	Compuestos de plomo	C/Pb	5	1	
97	Cromato de potasio	7789-00-6	2,500	500	SI
98	Cromo	7440-47-3	5	1	
99	Cumeno	98-82-8	5,000	1,000	SI
100	DDT	50-29-3	5	10	
101	Dibenz[a,j]acridina	224-42-0	2,500	100	SI
102	Dibenzo[a,h]antraceno	53-70-3	2,500	100	SI
103	Dibutilftalato	84-74-2	2,500	100	
104	Diclorodifenildicloroetileno (DDE)	72-55-9	2,500	500	SI
105	Dicromato de potasio	7778-50-9	2,500	500	SI

106	Dieldrin	60-57-1	5	10	
107	Difetialona	104653-34-1	2,500	500	SI
108	Difosfuro de tricinc	1314-84-7	2,500	500	SI
109	Diisocianato de difenilmetano polimérico	9016-87-9	5,000	100	SI
110	Diisocianato de isoforona	4098-71-9	5,000	100	SI
111	Dinitrotolueno (mezcla de isómeros)	25321-14-6	5,000	1,000	SI
112	Dioxano	123-91-1	5,000	500	
113	Dióxido de cloro	10049-04-4	2,500	100	
114	Dióxido de torio	1314-20-1	2,500	500	SI
115	Dioxinas		0	0	
116	Endosulfan técnico	115-29-7	5	10	
117	Endrin	72-20-8	5	10	
118	Epiclorohidrina	106-89-8	2,500	500	
119	Estireno (fenil-etileno)	100-42-5	5,000	500	
120	Estreptozocina	18883-66-4	5,000	500	SI
121	Eter bis-cloro metílico	542-88-1	2,500	500	
122	Éter de 2,2',3,4,4',5,6 heptabromodifenilo (BDE-183)	207122-16-5	5	10	SI
123	Éter de 2,2'3,3',4,5',6 heptabromodifenilo (BDE-175)	446255-22-7	5	10	SI
124	Éter de 2,2'4,4'5,5' hexabromodifenilo (BDE-153)	68631-49-2	5	10	SI
125	Éter de 2,2'4,4'5,6' hexabromodifenilo (BDE-154)	207122-15-4	5	10	SI
126	Éter de pentabromodifenilo	32534-81-9	2,500	500	SI
127	Éter de tetrabromodifenilo	40088-47-9	5	10	SI
128	Etoxazole	153233-91-1	2,500	100	SI
129	Fenilfosfina	638-21-1	2,500	500	SI
130	Feniltiofosfato de O-etilo y O-4-nitrofenilo	2104-64-5	2,500	100	SI
131	Fenol	108-95-2	5,000	500	
132	Flocoumafen	90035-08-8	2,500	100	SI
133	Fluoruro de sulfonilo perfluorooctano	307-35-7	5	10	SI
134	Fonofos	944-22-9	2,500	100	SI
135	Formaldehído	50-00-0	2,500	100	
136	Fosfato de tris(2,3-dibromopropilo)	126-72-7	2,500	100	SI
137	Fosfato de tris(metilfenilo)	1330-78-5	5,000	1,000	SI
138	Foxim	14816-18-3	2,500	100	SI
139	Furanos		0	0	
140	Heptacloro	76-44-8	5	10	
141	Hexabromo-1,1'-bifenilo	36355-01-8	5	10	SI
142	Hexaclorobenceno	118-74-1	0	0	

143	Hexaclorobuta-1,3-dieno	87-68-3	5	1,000	
144	Hexaclorociclopentadieno	77-47-4	2,500	100	
145	Hexacloroetano	67-72-1	5,000	500	
146	Hexafluoruro de azufre	2551-62-4	5,000	0	
147	Hidracina	302-01-2	2,500	100	
148	Hidrofluorocarbonos		2,500	100	
149	Imaxamox	114311-32-9	5,000	500	SI
150	Imidacloprid	138261-41-3	5,000	500	SI
151	Indeno (1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	50	5	SI
152	Indometacina	53-86-1	5,000	1,000	SI
153	Isobenzano	297-78-9	2,500	100	SI
154	Isoxati3n	18854-01-8	2,500	100	SI
155	L-cialotrina	91465-08-6	2,500	100	SI
156	Lindano	58-89-9	5	10	
157	Mercurio	7439-97-6	5	1	
158	Metam-sodio	137-42-8	2,500	500	SI
159	Metano	74-82-8	2,500	100,000	
160	Metil paration	298-00-0	5	100	
161	Metilcarbamato de 3-isopropilfenilo	64-00-6	2,500	500	SI
162	Metileno bis(fenilisocianato)	101-68-8	5,000	100	SI
163	Metoxicloro	72-43-5	50	100	
164	Mirex	2385-85-5	5	10	
165	Monocrotofos	6923-22-4	2,500	500	SI
166	Naled	300-76-5	2,500	500	SI
167	N3quel	7440-02-0	5	1	
168	Nitrato de cadmio	10325-94-7	2,500	100	SI
169	Nitrato de plata	7761-88-8	2,500	500	SI
170	Nitrato de propilo	627-13-4	2,500	100	SI
171	Nitrosodimetilamina	62-75-9	2,500	100	
172	Oxido de etileno	75-21-8	2,500	100	SI
173	Oxido nitroso	10024-97-2		100,000	
174	P-benzoquinona	106-51-4	2,500	500	SI
175	Pentaclorobenceno (PeCB)	608-93-5	5	10	SI
176	Pentaclorofenol	87-86-5	2,500	100	
177	Perfluorocarbonos		5,000	1,000	
178	Piretrum	8003-34-7	2,500	500	SI
179	Piridina	110-86-1	5,000	1,000	
180	Plomo	7439-92-1	5	1	

181	Praletrina	23031-36-9	2,500	100	SI
182	Propoxur	114-26-1	2,500	100	SI
183	Sulfato de cadmio	10124-36-4	2,500	100	SI
184	Sulfato de cobre	7758-98-7	2,500	100	SI
185	Sulfato de dietilo	64-67-5	2,500	500	SI
186	Sulfato de dimetilo	77-78-1	2,500	500	SI
187	Temefos	3383-96-8	2,500	100	SI
188	Terbutilazina	5915-41-3	5,000	500	SI
189	Tetrametrin	7696-12-0	2,500	100	SI
190	Toluen diisocianato (resina)	26471-62-5	5,000	100	
191	Tolueno	108-88-3	5,000	1,000	SI
192	Toxafeno	8001-35-2	5	10	
193	Triadimefon	43121-43-3	5,000	500	SI
194	Trialato	2303-17-5	5,000	1,000	SI
195	Tricloroetileno	79-01-6	2,500	100	
196	Tris(2-cloroetil)amina (HN3)	555-77-1	5,000	1,000	SI
197	Tritiofosfato de S,S,S-tributilo	78-48-8	2,500	100	SI
198	Valinomicina	2001-95-8	5,000	1,000	SI
199	Warfarina	81-81-2	2,500	500	
200	Xileno (mezcla de isómeros)	1330-20-7	5,000	1,000	SI

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-Trifluoretano (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

- Asbestos.com. 2009.** ¿Qué es el asbesto? *Asbestos.com en español*. [En línea] 2009. [Citado el: 1 de 2 de 2011.] <http://espanol.asbestos.com/asbesto/>.
- 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.
- 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.
- Crysotile Ins. 1998.** Safe use of chrysotile asbestos manual. *Crysotile Institute*. [En línea] 1998. [Citado el: 29 de 1 de 2011.] <http://www.asbestos-institute.ca/safematerial/section5/section5a.html#acmfg>.
- Crysotile. 1998.** Safe use of chrysotile asbestos manual. *Crysotile Institute, California*. [En línea] 1998. [Citado el: 29 de 1 de 2011.] <http://www.asbestos-institute.ca/safematerial/section5/section5a.html#acmfg>.
- 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.
- INE. 1987.** *Instituto Nacional de Ecología, Determinación de la Norma Técnica de Emisión para Asbesto*. México D.F. : INE, 1987.
- 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.
- IPCC. 2003.** *Balance Nacional de Energía y Factores de Emisión*. s.l. : IPCC, 2003.
- NAS. 1977.** National Academy of Sciences. *Drinking water and health: Table IV-5 Emission Factors for Asbestos*. [En línea] 11 de 1977. <http://books.google.com/books?id=m1mmPuzcObkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- 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>.
- **1998.** Emission Estimation Technique Manual for Pulp and Paper Manufacturing. *Australian Government, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts*. [En línea] 08 de 1998. <http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/pubs/fpaper.pdf>.
- **2010.** Emission estimation technique manuals. *Australian Government, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts*. [En línea] National Pollutant Inventory, 2010. <http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/index.html>.
- 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.

- SEDUE. 1987.** Determinación de la Norma Técnica de Emisión para Asbesto. *Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología*. [En línea] 12 de 1987. http://repositorio.ine.gob.mx/ae/ae_004394-1.pdf.
- SEMARNAT. 2010.** *Estudio sobre las alternativas y sustitutos de sustancias químicas sujetas a medidas de control de acuerdos internacionales en materia ambiental*. Mexico D.F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010.
- **2001.** *Guía para la correcta selección y empleo de los métodos de estimación de emisiones contaminantes*. Mexico, D.F. : SEMARNAT con e apoyo de la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2001. 968-817-507-2.
- **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. : SEMARNAT, 2007.
- USEPA. 1998b.** *AP-42 Emission Factor Documentation for section 4.3 Waste Water collection, treatment and storage*. Washington : US government printing office, 1998b.
- **1980.** *AP-42 Emission Factor Documentation for Section 4.7 Waste solvent reclamation*. Washington D.C. : US government printing office, 1980.
- **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/>.
- **2008.** Speciate Data Browser. *PM Profile table:steel electric arc furnace*. [En línea] Environmental Protection Agency, United States, 11 de 2008. <http://cfpub.epa.gov/si/speciate/>.
- **2012.** *WebFIRE service of emission factor compilation*. s.l. : USEPA WebFIRE, 2012.
- Woods, A.L. 2000.** Keeping a lid on it: Asbestos Cement Building Materials. *Technical Preservation Services*. [En línea] 2000. [Citado el: 26 de 1 de 2011.] <http://www.cr.nps.gov/hps/tps/recentpast/asbestosarticle.htm>.
- WRI. 2005.** *Calculation tool for direct emissions of stationary combustion. Calculation worksheets.July 2005. Version 3.0*. s.l. : WRI y WBCSD, 2005.