

Balance de masa de procesos industriales para aguas de desecho.

Mass balance for industrial process wastewater.



Ing. Facundo Cortés Martínez

Ingeniero Civil

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail: facundo_cm@yahoo.com.mx



Ing. Alejandro Treviño Cansino

Ingeniero Civil

Maestro en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail: atreviñoc@live.com.mx



Lic. Agustín Sáenz López

Licenciado en Física

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

Teléfono 871 7152017 E-mail: aguspl@hotmail.com

Arq. Claudia Mayela Ávila Garza

Arquitecto

Maestra en Ciencias de la Ingeniería Civil con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción

Profesor-investigador

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

E-mail: Arq_claudiavila@yahoo.com.mx

Recibido: 15-11-14

Aceptado: 18-12-14

Resumen:

En el artículo se presenta un método para establecer un balance de masa aplicado a las aguas residuales de procesos industriales. Al inicio se indican recomendaciones para la elaboración de un diagrama de flujo de proceso, luego se describe el cálculo de la carga contaminante, y después se sugiere la forma de contabilizar los consumos de agua y contaminantes por cada

uno de los procesos. Se recomiendan los criterios para la separación de gastos dentro de las instalaciones de la industria. Se aplicó la metodología en una industria que produce detergentes, alcanzando los resultados obtenidos un ahorro económico importante. Finalmente, se mencionan, en forma general, las mejores técnicas para el control de la contaminación industrial.

Palabras clave: Balance de masa, Procesos industriales, Operación unitaria, Carga Contaminante, Técnicas de control industrial.

Abstract:

The present paper shows a method to establish a mass balance applied to industrial wastewater. At the beginning it is indicated the recommendations for the construction of a process flow diagram. Later, it is described the calculus for the contamination load. Then, it is suggested the way to measure the water consumptions and pollutants for each of the processes. After the above, it is recommended the criterion for the flow splitting inside of the industrial facilities. It was applied the methodology in an industry that produces detergents. The results show an important economic save. Finally, are mentioned, in a general way, the best technics for the industrial pollutant control.

Keywords: Mass balance, Industrial processes, Unit Operation, Pollutant load, Industrial control techniques.

Introducción:

Un balance de masa es la comprobación cuantitativa entre productos o masas usadas en la entrada, y los productos y residuos de salida de un proceso [1].

En un proceso industrial, también llamado operación unitaria, se tienen como resultado productos y residuos. En la figura 1 se muestra el concepto de entradas y salidas de un proceso industrial.

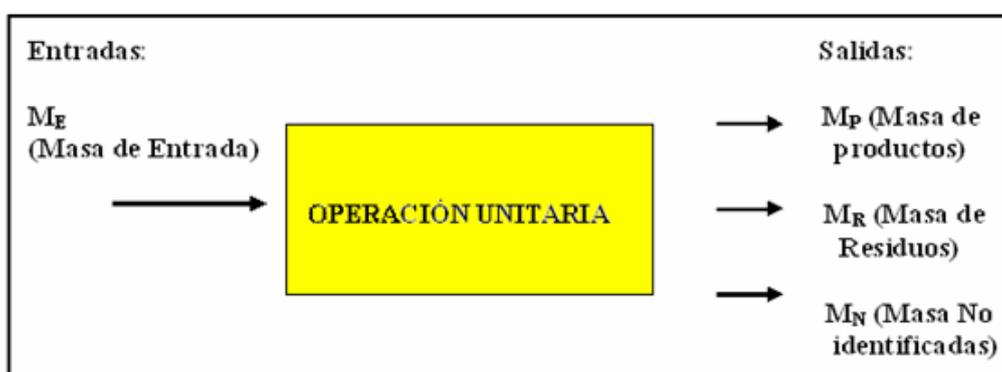


Figura 1. Principio básico de entradas y salidas de una operación unitaria Fuente [1].

Cuando el proceso industrial incluye agua, es recomendable llevar a cabo un balance solo para el agua; lo anterior, con el propósito de determinar el efecto de la separación de descargas, volúmenes y concentración de contaminantes: la separación de descargas disminuye el caudal y los costos de tratamiento [2].

Los beneficios de establecer un balance de masa aplicado a las aguas residuales de proceso son: eliminar o reducir el costo por pago de derechos en la descarga de aguas residuales al sistema de tuberías; proteger el sistema de proceso de la planta de tratamiento municipal; control en el vertido de metales pesados al sistema de drenaje: estos inhiben el tratamiento biológico de la planta municipal; se evita la corrosión de tuberías y equipo debido a las condiciones ácidas en las aguas residuales, y finalmente, es posible la disposición adecuada de los lodos [3, 4, 5]. Según la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de Estados Unidos, las descargas de aguas residuales de procesos industriales y comerciales conviene controlarlas desde el lugar de origen [6, 7].

Se han publicado manuales y métodos para llevar a cabo el balance de masa en la industria. Éstos consideran las aguas residuales del proceso, por ejemplo: La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) [8]; el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Industria y Medio Ambiente (PNUMA; IMA) [9]; Wills *et al.* [10]. En México, El Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) [11] y la Universidad Nacional Autónoma de México. [2]. Estos métodos han reducido en forma importante el grado de contaminación en aguas residuales, específicamente de procesos u operaciones industriales.

El objetivo del presente documento es describir una metodología clara y sencilla para la implementación de un balance de masa aplicado exclusivamente a las aguas residuales de procesos industriales.

Metodología:

Para llevar a cabo un balance de materia en cada uno de los procesos, es necesario conocer a detalle el manejo y cantidad de agua utilizada; es decir, como entra y sale el agua. Lo Anterior proporcionará información importante acerca de qué proceso o procesos son los que mas contaminan.

Las siguientes son algunas recomendaciones generales para realizar un balance de materia en una industria: a) dibujar un diagrama de flujo del proceso industrial, b) determinar los gastos utilizados en cada proceso y la concentración de contaminantes, c) anotar en el diagrama los datos conocidos, d) determinar las incógnitas en el diagrama y e) escribir los balances de materia, ya sea por cada proceso o en forma general [2].

Además de lo anterior, es prudente conocer a detalle la red hidráulica de drenaje: ayudará a determinar los puntos estratégicos de muestreo de las aguas residuales del proceso en cuestión. Adicionalmente, se podrán anticipar las posibles modificaciones del sistema de drenaje [2].

La información básica para llevar a cabo el estudio, puede registrarse como se muestra en la tabla 1. En ésta, se indica el consumo de agua en cada operación, así como los contaminantes generados por cada proceso. En el caso presente, se consideran los siguientes parámetros: a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): se define como el oxígeno disuelto que necesitan los organismos vivos para descomponer la materia orgánica, b) Demanda Química de Oxígeno (DQO): mide la materia orgánica presente en las aguas residuales tanto industriales como domésticas y c) Sólidos suspendidos (SS): se componen de materia orgánica e inorgánica en suspensión. El incremento de SS sugiere que existen descargas de aguas residuales de origen industrial y comercial [4].

Tabla 1. Desglose de consumos de agua y contaminantes por proceso

		DQO	DBO	SS	Gasto
Procesos	Estación	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(l/s)
Proceso 1	A				
Proceso 2	B				
Proceso 3	C				
Proceso 4	D				
Proceso 5	E				

Fuente [2].

Para realizar el balance es necesario calcular la carga contaminante de cada proceso; ésta se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$\text{Carga contaminante} = Q(C)(86400)(0.001) \quad (1)$$

Donde:

$$\text{Carga contaminante} = (\text{kg} / \text{día})$$

$$Q = \text{Gasto en } (l / s)$$

$$C = \text{Concentración de contaminantes presentes en el agua residual del proceso específico en } (mg / l)$$

$$86400 = \text{Segundos por día}$$

$$0.001 = \text{Un factor de conversión}$$

Balance de masa para aguas residuales de proceso

Con base en los datos de la tabla 1, se aplica la fórmula (1). La información puede registrarse como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Cargas contaminantes y volumen de aguas residuales por cada proceso.

Contaminantes	PROCESOS					Descarga Alcantarillado
	A	B	C	D	E	
DQO (kg/d)						
DBO (kg/d)						
SS (kg/d)						
Flujo (l/s)						

Fuente [2].

Separación de gastos dentro de la instalación industrial

Con base en los resultados que indique la tabla 2, se lleva a cabo un análisis de las descargas y gastos (separación de gastos con menos contaminantes). Por ejemplo, si se tiene un alto contenido de sólidos suspendidos, entonces se recomienda construir una fosa de sólidos. O bien, si se tiene un alto contenido de grasas, establecer el pretratamiento de trampas de grasas y aceites; es decir, aplicar las tecnologías de pretratamiento de aguas residuales.

Los gastos con altas cargas contaminantes deben conducirse hasta una estación de tratamiento formal. Con base en lo anterior, se realiza un análisis comparativo de los costos que se deben cubrir a la autoridad encargada de regular el control de descargas de aguas residuales al sistema de drenaje y alcantarillado municipal. Lo mencionado, antes y después de realizar el balance de masa. Con estos resultados, se tiene una base sólida para la toma de decisiones.

EJEMPLO HIPOTÉTICO DE APLICACIÓN

El siguiente ejemplo de aplicación fue adaptado del curso de Uso Eficiente del Agua y Control de Calidad de las Descargas de Aguas Residuales en la Industria de la UNAM [2]. Una industria que produce detergentes realizó la caracterización de sus aguas residuales de desecho por cada uno de los procesos. En la tabla 3 se indican los resultados. Se solicita llevar a cabo un balance de masa de aguas de desecho, con el propósito de reducir la concentración de contaminantes y gasto que se descargan a la red de alcantarillado municipal.

Tabla 3. Resultados de la caracterización de aguas residuales por cada uno de los procesos

Estación	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SS (mg/l)	Q (l/min)
1	1,550	750	250	12.5
2	2,950	1,850	920	2.5
3	35	40	45	1.5
4	1,450	580	420	5.5
5	45	25	40	25.5
6	65	45	40	5.5
7	4,500	2,200	665	2.3
8	5,500	3,500	550	3.5
9			4,500	21
			Suma	79.8

En la figura 2 se muestra la distribución actual de las descargas de aguas residuales por cada proceso.

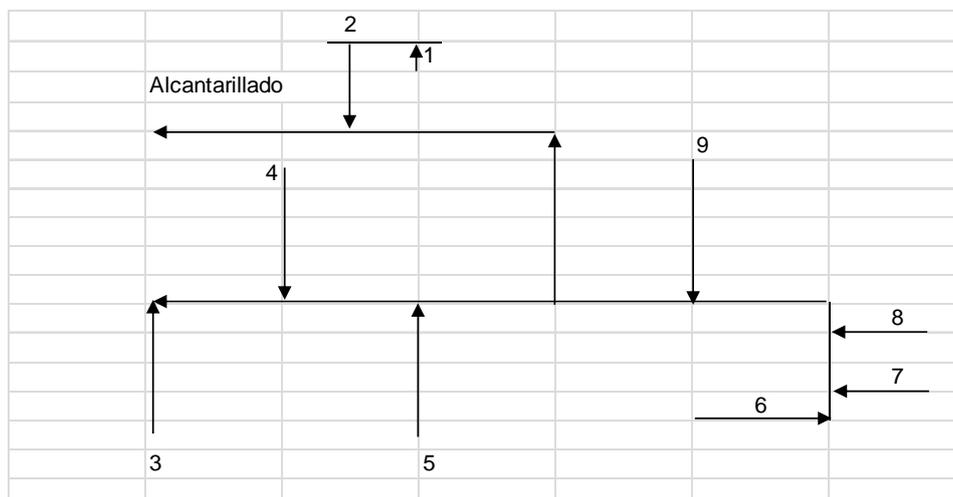


Figura 2. Esquema de descargas de aguas residuales de proceso para producir detergentes.

Resultados y discusión:

Como ya se indicó al aplicar la expresión (1) se determina la carga contaminante. La tabla 4 muestra los resultados.

Tabla 4. Carga contaminante por cada proceso de la industria que produce detergentes.

Parámetros	P R O C E S O S									Descarga
	1	2	3	4	5	9	7	6	8	Alcantarillado
DQO (kg/día)	27.9	10.62	0.08	11.48	1.65	-	14.9	0.515	27.72	94.87
DBO (kg/día)	13.5	6.66	0.086	4.59	0.918	-	7.286	0.356	17.64	51.04
SS (kg/día)	4.5	3.312	0.097	3.326	1.468	136.1	2.2	0.317	2.772	154.1
Flujo (l/min)	12.5	2.5	1.5	5.5	25.5	21	2.3	2.5	3.5	79.8

De acuerdo con la metodología descrita, el proceso 9 incluye sólo sólidos suspendidos, por lo que puede separarse para luego aplicar un proceso de sedimentación. Los procesos 3, 5 y 6 se recomiendan también separarlos y luego descargarlos a la red de drenaje municipal, ya que presentan bajas concentraciones. Los procesos 1, 2, 4, 7 y 8 requieren de tratamiento formal por lo que es prudente segregarlos. De acuerdo con lo anterior en la figura 3 se muestra la industria con los procesos organizados.

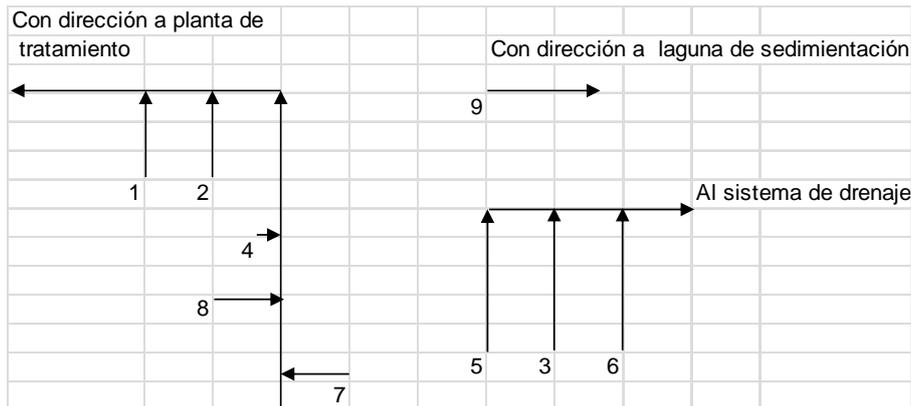


Figura 3. Esquema de descargas de aguas residuales de proceso con la nueva organización.

Enseguida se determinan las cargas contaminantes de cada uno de los procesos que necesitan tratamiento formal.

Tabla 5. Carga contaminante por cada proceso de la industria que produce detergentes con la nueva organización.

Parámetros	PROCESOS					
	1	2	4	8	7	Total
DQO (kg/día)	27.9	10.62	11.48	27.72	14.9	92.62
DBO (kg/día)	13.5	6.66	4.59	17.64	49.68	49.68
SS	4.5	3.31	3.32	2.77	16.11	16.11
Q (l/min)	12.5	2.5	5.5	3.5	2.3	26.3

En la figura 4 se indica un comparativo de cargas contaminantes antes y después del balance, se observa que en la DQO y DBO una variación mínima, pero se obtuvo una diferencia importante en los sólidos suspendidos y el gasto.

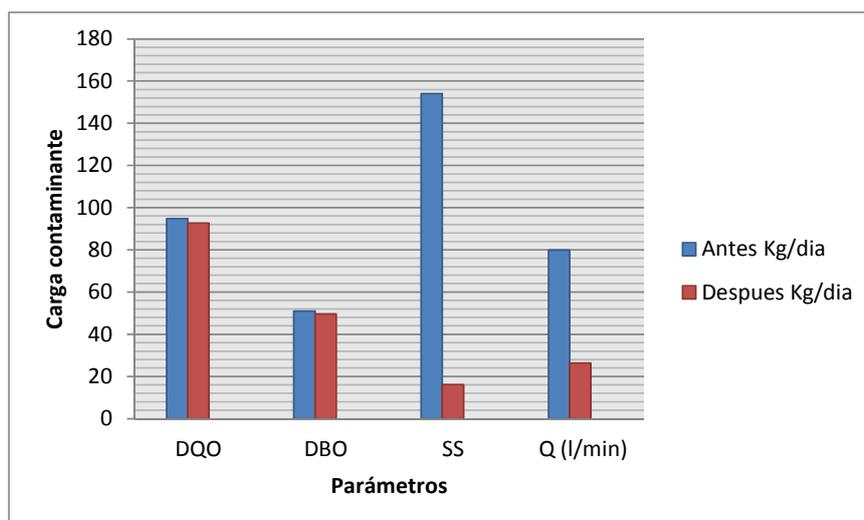


Figura 4. Comparativo de cargas contaminantes y gastos de aguas residuales de proceso con la nueva organización.

En la tabla 6 se muestran los resultados de la carga contaminante en kilogramos por día, antes y después de la organización de las descargas de la industria.

Tabla 6. Carga contaminante y gasto de la industria que produce detergentes con la nueva organización.

	Antes	Después
Parámetro	Kg/día	Kg/día
DQO	94.8708	92.628
DBO	51.0408	49.68
SS	154.0757	16.11288
Caudal Q (l/min)	79.8	26.3

De los costos de tratamiento

Considerando los costos que indica [2] se tiene: para la DBO y SS \$ 20.00 y \$ 21.00 kilogramo respectivamente.

Tabla 7. Comparativo de costos de tratamiento

Parámetro	Antes (\$)	Después (\$)
DBO	30,600.00	30,000.00
SS	97,020.00	10,080.00
Suma	127,620.00	40,080.00

La tabla 7 indica los costos mensuales de tratamiento, el ahorro es aproximadamente un 68 por ciento. No obstante que se analiza un ejemplo hipotético se observa el beneficio económico que puede obtenerse al establecer un balance de masa de aguas residuales.

Del control de procesos

Una vez que fueron identificados los gastos y cargas contaminantes, fue posible analizar la forma de reducir la fuente dentro de la industria. Según la EPA las técnicas de control industrial se agrupan dentro de los siguientes ocho apartados: 1. Cambios de uno o más procesos, 2. Sustitución de material, 3. Almacenamiento e inventario de material, 4. Segregación de desechos, 5. Mantenimiento preventivo, 6. Cambios de uno o varios productos, 7. Conservación de agua y energía y 8. El reciclaje de desechos. [12]. Las técnicas de control industrial se refieren a las acciones para prevenir o mitigar las descargas de contaminantes en el sistema de alcantarillado municipal. Las plantas de tratamiento con frecuencia exigen que los usuarios industriales diseñen y apliquen un programa de sus procesos industriales considerando dichas técnicas [2, 3, 4,12].

De acuerdo con [2, 4, 12] si la industria decide establecer las acciones mencionadas anteriormente, es posible disminuir aun más las cargas contaminantes que son vertidas al sistema de tuberías de la municipalidad, y desde luego la disminución del costo por descarga de aguas residuales al sistema de drenaje. Los resultados del presente ejercicio coinciden con las afirmaciones de los autores citados.

En el anexo 1 se muestran los diferentes giros industriales así como los tipos de contaminantes que son generados. El citado anexo es un estudio que fue llevado a cabo la Universidad Autónoma Metropolitana en 1997 a solicitud de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Éste documento fue publicado por la Comisión Nacional del Agua [2].

De la normatividad

En México, la norma en materia de control de la contaminación por descargas domiciliarias es la siguiente:

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal [13].

El cumplimiento de la norma anterior es de carácter obligatorio para las industrias, comercios y prestadores de servicios.

Conclusiones:

Se aplicó la metodología propuesta en un ejemplo hipotético. Se observa claramente el criterio de análisis paso a paso, hasta concluir con las cargas contaminantes.

La separación de gastos con alta y baja concentración, puede disminuir los costos de tratamiento, o bien eliminar o reducir los costos por descarga de aguas residuales de proceso al sistema de drenaje municipal.

La optimización de los procesos industriales y el uso eficiente de los materiales, disminuyen el gasto de aguas residuales con alta concentración de contaminantes; además, reducen las enfermedades y accidentes de los trabajadores.

La aplicación del balance en las aguas residuales, necesita de la participación del personal productivo, operativo y gerencial de las industrias; incluye también a los especialistas en ingeniería ambiental.

Referencias:

[1] Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (2005). Métodos para realizar balances de masa, balance de energía, cálculo de consumos y descargas específicas. Consultado el 30 de octubre de 2014

http://libroweb.alfaomega.com.mx/catalogo/pmlproduccionmaslimpia/libreacceso/libreacceso/reflector/ovas_statics/unid5/PDF_Espanol/Guia_Tecnica_PML.pdf

[2] Universidad Nacional Autónoma de México. (2000): Curso: uso eficiente del agua y control de calidad de las descargas de aguas residuales en la industria. México.

[3] Environmental Protection Agency (EPA). (1987). Guidance Manual for Preventing Interference at POTWs. EUA.

[4] Comisión Nacional del Agua. (2007). Guía para el control de descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. México.

[5] Cortés Martínez, F., Martínez García, I., Betancourt Hernández, J. y Duke Herrera, J. (2009). **Cálculo del índice de incumplimiento y costo por pago de derechos en la descarga de agua residual de procesos industriales. (Caso Comarca Lagunera)**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 33-39, ISSN: 1665-529X.

[6] Environmental Protection Agency (EPA). (2003). Voluntary national guidelines for management of onsite and clustered (decentralized) wastewater treatment systems. EUA.

[7] Environmental Protection Agency (EPA). (2002). *Onsite wastewater treatment systems manual*. EUA.

[8] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. "Manual de Producción más Limpia. Consultado el 30 de octubre de 2014.

<https://docs.google.com/file/d/0BxTkwaQhBwkcbUJyclpLaTdNSWc/edit?pli=1>

[9] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Producción más limpia, material técnico de apoyo. Consultado el 30 de octubre de 2014.

<http://www.pnuma.org/eficienciarecursos/documentos/pmlcp03a.pdf>

[10] Wills, B.A., Vélez, S. Arboleda, A.F. y Garcés, J.P. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el sitio. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía. Colombia. 13, pp. 93-105

[11].Centro de promoción de tecnologías sostenibles. (2005). Guía técnica general de producción más limpia Consultado el 30 de octubre de 2014.

http://libroweb.alfaomega.com.mx/catalogo/pmlproduccionmaslimpia/libreacceso/libreacceso/reflector/ovas_statics/unid5/PDF_Espanol/Guia_Tecnica_PML.pdf

[12] Environmental Protection Agency (EPA). (1999). Curso control de descargas a las redes de alcantarillado municipal. (Pretratamiento de aguas residuales para funcionarios mexicanos). EUA.

[13] Diario Oficial de la Federación. (1998). NOM-002-ECOL-1996: que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de Alcantarillado urbano o municipal. México.

Anexo 1. Principales contaminantes que descargan los diferentes giros de la industria

RAMA	DESCRIPCIÓN	CE	pH	G y A	SS	SST	DBO	DQO	SAAM
3111	industria de la carne			x		x	x	x	
3112	elaboración de productos lácteos			x		x	x	x	
3113	elaboración de conservas alimenticias	o		x	x		x	x	x
3114	beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas			x	x	x			
3115	elaboración de productos de panadería			x	x			x	
3116	molienda de nixtamal y fabricación de tortillas	o	o		x	x	x	x	
3117	fabricación de aceites y grasas comestibles			o				x	
3118	industria azucarera	o	o			x	x	x	o
3119	fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería			x	x	x	x	x	
3121	elaboración de otros prod. alimenticios p/consumo humano			x	x	x	x	x	
3122	elaboración de alimentos preparados para animales			x		x	x	x	
3130	industria de las bebidas	o		x		x	x	x	o
3140	industria del tabaco					x	x	x	
3211	industria textil de fibras duras y cordeles de todo tipo			x			x		x
3212	hilado, tejido y acabado de fibras blandas, excluye de punto				x	x	x		
3213	confección con materiales textiles					x	x		
3214	fabricación de tejidos de punto					x	x		
3220	confección de prendas de vestir					x	x		
3230	industria del cuero, pieles y sus productos	o		x	x	x	x	o	
3240	industria del calzado, excluye de hule y/o plástico					x			
3311	fabricación de productos de aserradero y carpintería				x	x	x		
3312	fabricación de envases y productos de madera y corcho					x	x		
3320	fabricación y reparación de muebles sobre todo de madera					x	x		
3410	manufactura de celulosa, papel y sus productos	o		x	x	x	x		
3420	imprentas, editoriales e industrias conexas			x		x	x		
3511	petroquímica básica				x	x	x	x	
3512	fabricación de sustancias químicas básicas	o		x		x	x	x	
3513	industria de las fibras artificiales y/o sintéticas					x		x	o
3521	industria farmacéutica			x	x	x	x	x	
3522	fabricación de otras sustancias y productos químicos	o			x	x	x	x	
3540	industria del coque		x			x	x	x	
3550	industria del hule			x		x	x	x	
3560	elaboración de productos de plástico			x		x	x	x	
3611	alfarería y cerámica, excluye materiales de construcción	o			o				
3612	fabricación de materiales de arcilla para la construcción	o				x			
3620	fabricación de vidrio y productos de vidrio					x	x	x	
3691	fabricación de cemento, cal, yeso de minerales no metálicos	o				x	x	x	
3710	industria básica de hierro y del acero			x	x	x			
3720	industria básica de metales no ferrosos					x			
3811	fundición y molde de pzas. metálicas ferrosas y no ferrosas			x	x	x			
3812	fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas ind.					x			
3813	fabricación y reparación de muebles metálicos					x			
3814	fabricación de productos metálicos, excluye maq. y equipo	x		x	x	x			x
3821	fabricación, rep. y/o ensamble de maq. y equipo específicos				x	x			
3822	fabricación, rep. y/o ensamble de maq. y equipos generales				x	x			
3823	fabricación y/o ensamble de maq. de oficina e informática					x		x	
3831	fabricación y/o ensamble de maq. y equipo eléctricos					x		x	
3832	fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, T.V., comunicación, y uso médico					x		x	
3833	fabricación y ensamble de aparatos y accesorios domésticos					x		x	
3841	industria automotriz			o		x			o
3842	fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes, excluye autos y camiones	x				x			
3850	fabricación, reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión					x		x	
3900	otras industrias manufactureras					x	x	x	x

Adaptada de UAM, 1997, EPA, 1987

Nota: x Contaminante medido

Anexo 1. Principales contaminantes que descargan los diferentes giros de la industria (continuación).

RAM A	DESCRIPCIÓN	Al	As	Cd	CN	Cu	Cr ⁶	Cr tot	F	Hg	Ni	Pb	Ag	Zn	Fen ol
3111	Industria de la carne		x	x	x	x	x			x		x			
3112	elaboración de productos lácteos		x		x	x						x			x
3113	elaboración de conservas alimenticias									x	x				
3114	beneficio y molenda de cereales y otros productos agrícolas										x			x	
3115	elaboración de productos de panadería		x	x	x	x	x	x	x				x		
3116	molenda de nixtamal y fabricación de tortillas		x	x			x						x		
3117	fabricación de aceites y grasas comestibles				x		x		x	x	x	x	x		
3118	industria azucarera			x											
3119	fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería				x		x					x			
3121	Elab. otros prod. alimenticios para consumo humano						x	x		x	x		x		x
3122	elaboración de alimentos preparados para animales				x	x				x			x	x	
3130	industria de las bebidas				x			x		x					
3140	industria del tabaco								x			x			
3211	industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo		x	x	x		x	o		x	o	x	x		x
3212	hilado, tejido y acabado de fibras blandas		x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	
3213	confección con materiales textiles		x	x	x		x		x	x		x	x		
3214	fabricación de tejidos de punto		x	x			x			x		x	x		x
3220	confección de prendas de vestir		x	x	x		x			x	x	x	x		
3230	industria del cuero, pieles y sus productos		o	o	o	o	x	x			o	o		o	o
3240	industria del calzado, excluye de hule y/o plástico		o			o									
3311	fabricación de productos de aserradero y carpintería.					o		o	o		o				o
3312	fabricación de envases y productos de madera y corcho														
3320	fabricación y reparación de muebles de madera		o							x					
3410	manufactura de celulosa, papel y sus productos		x	x			x			x	x	x			
3420	imprentas, editoriales e industrias conexas		x	x	x		x			x		x	x		
3511	petroquímica básica		o		o			o	o			o		o	
3512	fabricación de sustancias químicas básicas		o	o	o	o		o				o		o	o
3513	industria de las fibras artificiales y/o sintéticas										o				o
3521	industria farmacéutica		o	o	o			o	o			o		o	o
3522	fabricación de otras sustancias y productos químicos		o	x	o		x	o	o	x		o		o	o
3540	industria del coque		x	x			x		x	x					
3550	industria del hule									x		o		o	
3560	elaboración de productos de plástico		o			o		o		x	o	o		o	
3611	alfarería y cerámica			o	o						o	x		o	
3612	fabricación de materiales de arcilla para la construcción														
3620	fabricación de vidrio y productos de vidrio		x	x	x		x	x	x			x	x		
3691	fabricación de cemento, cal, yeso		x	x	x					x	x		x	x	
3710	industria básica de hierro y del acero			o	o	o		o	o			o		o	o
3720	industria básica de metales no ferrosos		o	o		o		o	o		o	o		o	o
3811	fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no			o		o				x	o		o		x
3812	fabricación de estructuras metálicas			x		o		o		o		o			
3813	fabricación y reparación de muebles metálicos					o		o		o		o			x
3814	fabricación de productos metálicos		x		x	x	x	x	o	x	o	o	o	x	
3821	fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria y equipo específicos												o	o	
3822	fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria y equipos generales			x											
3823	fabricación y/o ensamble de maq. de oficina e info.														
3831	fabricación y/o ensamble de maq. y equipo eléctricos		x	x	x		x		o	o	x	x	o		
3832	fabricación y/o ensamble de equipo electrónico		x	x	x	x	x	x		o	o	o	o	x	
3833	fabricación y ensamble de aparatos domésticos		x	x	x		x		x						
3841	industria automotriz					o					o	o		o	o
3842	fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes, excluye autos y camiones					o						o		o	o
3850	fabricación, reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión			x			x	x				x	x		
3900	otras industrias manufactureras		x	x	x	o	x	x	x			o	x	o	o

Nota: x Contaminante medido o Contaminante potencia

Adaptada de UAM, 1997, EPA, 1987