

13  
ej

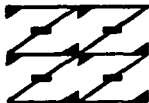


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**CRITERIOS DE DISEÑO DEL EQUIPO AUXILIAR DE CONTROL  
DE EMISIONES AL AIRE PARA UN INCINERADOR DE  
RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS**

**TESIS MANCOMUNADA  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N :  
JOSE GARDUÑO GARCIA  
JUAN SUASTEGUI AMBRIZ**



LO HEMOS  
EJE  
DE NUESTRA REFLEXION

**MEXICO, D. F.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES \*ZARAGOZA\***

**JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA**

**OF/082/004/97**

**C. JUAN SUASTEGUI AMBRIZ y  
JOSE GARDUÑO GARCIA,  
P r e s e n t o.**

**En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:**

- Presidente: I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo**  
**Vocal: M. en I. Roberto Mendoza Serna**  
**Secretario: I.Q. Gonzalo Rafael Coello García**  
**Suplente: I.Q. Hugo Héctor Martínez Rojas**  
**Suplente: I.Q. Eduardo Loyo Arnaud**

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
**México, D.F., 3 de Febrero 1997**

  
**Ing. Magín Enrique Juárez Villar**  
**Jefe de la Carrera**

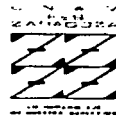


## AGRADECIMIENTOS

*GRACIAS A LA SANTISIMA TRINIDAD Y A LA VIRGEN DE GUADALUPE POR LA VIDA, SU BONDAD, SU CONSUELO Y LA OPORTUNIDAD DE ALCANZAR ESTA META.*

En aquel tiempo, en un monte cerca de Cafarnaún, Jesús dió un resumen magistral de su doctrina que llamamos el Sermón del Monte. Predicando el amor de Dios y del prójimo, insistió: "Sed, pues, vosotros perfectos, así como vuestro Padre Celestial es perfecto" . (Mateo 5:48).

**JOSÉ GARDUÑO GARCÍA**



## AGRADECIMIENTOS

---

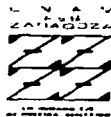
GRACIAS MAMÁ Y PAPÁ POR EL AMOR Y LA RESPONSABILIDAD QUE ME INFUNDIERON PARA CONTINUAR ADELANTE EN EL DURO CAMINO PARA ALCANZAR ESTA META. GRACIAS TAMBIÉN POR SUS ENSEÑANZAS, APOYO, PASCENCIA Y DESVELO. DIOS LOS GUARDE Y LOS BENDIGA.

Guadalupe Garcia Reyes

José Garduño Rodríguez

AGRADEZCO EL APOYO Y LA CONFIANZA QUE DÉPOSITARON EN MI TODA MI FAMILIA, PRIMOS, TÍOS, ETC. GRACIAS A TODOS. EN ESPECIAL QUIERO AGRADECER A LA FAMILIA HERNÁNDEZ POR SU VALIOSA Y OPORTUNA AYUDA EN LA TERMINACIÓN DE ESTE TRABAJO.

JOSÉ GARDUÑO GARCÍA



## *DEDICATORIA*

A MIS HERMANOS.

- Alejandro
- Enrique
- Gabriel
- Guadalupe
- Ricardo

POR SU AYUDA Y COMPRESIÓN.

JOSÉ GARDUÑO GARCÍA

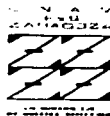


**DEDICATORIA**

A M<sup>ª</sup> ALEJANDRA GONZÁLEZ CRUZ

POR SU AMOR, SU APOYO Y SU FORMA DE SER.

JOSÉ GARDUÑO GARCÍA



## AGRADECIMIENTOS

---

GRACIAS MAMÁ POR TU EJEMPLO DE SACRIFICIO, ESFUERZO Y AMOR QUE ME ALIMENTARON PARA SEGUIR ADELANTE, DESARROLLARME Y ALCANZAR SER UN PROFESIONISTA PERO SOBRE TODO UN MEJOR SER HUMANO.

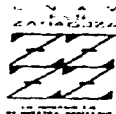
Macrina Ambriz Vieyra

GRACIAS PAPÁ POR TU EJEMPLO DE IR SIEMPRE HACIA ADELANTE, AUN EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES AUN EN TU ENFERMEDAD HE SENTIDO TU APOYO Y GRAN ESFUERZO PORQUE TERMINARA, GRACIAS POR ENSEÑARME A CRECER COMO SER HUMANO Y COMO HOMBRE.

Hesiquio Suástegui Medrano

JUAN SUÁSTEGUI AMBRIZ



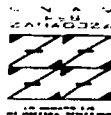


## *AGRADECIMIENTOS*

MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DIRECTA O INDIRECTAMENTE HAN HECHO POSIBLE EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO AL BRINDARME SU AMISTAD, APOYO, OPTIMISMO Y ANHELOS DE SUPERACIÓN PROFESIONAL.

Ing. María de la Consolación Rincón Duron  
Ing. Julia López san Juan  
Ing. Julia Pérez Ramirez

JUAN SUÁSTEGUI AMBRIZ



## *DEDICATORIA*

A MIS HERMANOS:

- José Luis
- Leticia
- Delgadina
- Areli
- Hesiquio
- Víctor Hugo

JUAN SUÁSTEGUI AMBRIZ



## *AGRADECIMIENTOS*

CON AGRADECIMIENTO POR SU TIEMPO Y CONOCIMIENTOS  
BRINDADOS PARA EL DESARROLLO DE ESTA TESIS.

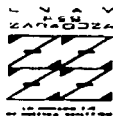
Ing. Miguel Angel Varela Cedillo  
Ing. René Francisco Cancino Rojas

POR SUS RECOMENDACIONES QUE PERMITIERON TERMINAR  
ESTA TESIS. NUESTRO AGRADECIMIENTO:

Ing. Gonzalo Rafael Coello Garcia  
M en I. Roberto Mendoza Serna  
Ing. Hugo Héctor Martínez Rojas  
Ing. Eduardo Loyo Arnaud

JOSÉ GARDUÑO GARCÍA

JUAN SUÁSTEGUI AMBRIZ



## **AGRADECIMIENTOS**

**CON AGRADECIMIENTO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA".**

**A TODOS LOS PROFESORES POR EL APOYO INCONDICIONAL  
QUE NOS BRINDARON EN NUESTRA FORMACIÓN PROFESIONAL.**

**GRACIAS A TODOS LOS COMPAÑEROS Y AMIGOS POR SU  
APOYO, POR LOS MOMENTOS VIVIDOS EN LA ESCUELA QUE  
NOS ALENTARON A LO LARGO DE NUESTRA FORMACIÓN Y QUE  
PERMIITIERON HACER EL AYER, VIVIR EL PRESENTE Y  
CONSTRUIR EL FUTURO.**

**JOSÉ GARDUÑO GARCÍA**

**JUAN SUÁSTEGUI AMBRIZ**

**CRITERIOS DE DISEÑO DEL EQUIPO AUXILIAR DE CONTROL  
DE EMISIONES AL AIRE PARA UN INCINERADOR  
RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS**

# CONTENIDO

	Página
Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras	X
Índice de Ecuaciones	XI
CAPITULO 1 OBJETIVOS	1
CAPITULO 2 INTRODUCCION	2
CAPITULO 3 GENERALIDADES	4
3.1 CONTAMINACION ATMOSFERICA	4
3.2 CLASIFICACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	7
3.2.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS	7
3.2.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS	17
3.3 FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE	24
3.4 PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AIRE	30
3.5 CASOS GRAVES DE CONTAMINACION DEL AIRE	32
CAPITULO 4 ESTUDIO AMBIENTAL	34
4.1 LA PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS	34
4.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS	37
4.2.1 RESIDUOS PELIGROSOS	37
4.2.2 RESIDUOS MUNICIPALES	37

4.2.3	RESIDUOS BIOLÓGICOS-INFECCIOSOS	39
4.2.4	RESIDUOS INDUSTRIALES NO PELIGROSOS	39
4.2.5	RESIDUOS RADIACTIVOS	39
4.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS	39
4.3.1	CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO	40
4.3.2	FUENTES DE RESIDUOS ACUOSOS	42
4.3.3	MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE DE LOS RESIDUOS ACUOSOS	42
4.4	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS GASEOSOS	45
4.5	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	46
4.5.1	CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	46
4.5.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y HOSPITALARIOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO, D. F.	50
4.6	MARCO INTERNACIONAL SOBRE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	56
4.6.1	ESTADOS UNIDOS	56
4.6.2	ALEMANIA	59
4.6.3	ACUERDOS Y PUNTOS DE OPINIÓN INTERNACIONALES	62
4.6.3.1	LÍNEAMIENTOS DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO	62
4.7	LEGISLACIÓN AMBIENTAL	63
4.7.1	ESTRUCTURA DE LA REGULACIÓN AMBIENTAL MEXICANA	63
4.7.1.1	BASES CONSTITUCIONALES	63
4.7.2	AUTORIDADES AMBIENTALES MEXICANAS	64
4.7.2.1	SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA (SEMARNAP)	64
4.7.2.2	INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (I. N. E.)	65
4.7.2.3	PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE (PROFEPA)	66
4.7.2.4	AUTORIDADES AMBIENTALES ESTATALES Y MUNICIPALES	67

4.7.3	DISTRIBUCION JURISDICCIONAL	67
4.7.3.1	JURISDICCION FEDERAL	68
4.7.3.2	JURISDICCION ESTATAL Y MUNICIPAL	68
4.7.4	LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA	69
4.7.4.1	LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE (LGEEPA)	69
4.7.4.2	REGLAMENTOS DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE	71
4.7.4.3	NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM)	72
4.8	ARTICULOS QUE SE DEBEN CUMPLIR PARA INCINERAR RESIDUOS HOSPITALARIOS	72
4.8.1	AGUA	74
4.8.2	AIRE	76
4.8.3	RESIDUOS PELIGROSOS	78
4.8.4	SUELO Y RESIDUOS SOLIDOS	83
4.8.5	IMPACTO AMBIENTAL	84
4.9	SALUD AMBIENTAL	91
<b>CAPITULO 5 ESTUDIO TECNICO</b>		<b>99</b>
5.1	EL PROCESO DE LA INCINERACION COMO ELIMINADOR DE RESIDUOS SOLIDOS	99
5.2	ASPECTOS TECNICOS DE LA INCINERACION	101
5.3	SUBPRODUCTOS GENERADOS POR LA INCINERACION	102
5.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE INCINERACION	106
5.4.1	VENTAJAS	106
5.4.2	DESVENTAJAS	106
5.5	EXPERIENCIAS EN LA ELIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN PLANTAS DE INCINERACION	107
5.6	RIESGOS ASOCIADOS A LOS PROCESOS TERMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS	112
5.6.1	RIESGO POR TOXICIDAD	112
5.6.2	RIESGO POR FUEGO Y EXPLOSION	113



5.6.3	RIESGO DE EXPLOSION DE POLVO COMBUSTIBLE EN EL HOGAR	114
5.6.4	RIESGOS POR EMISIONES DEL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA CON PROBLEMAS A LA SALUD Y AL AMBIENTE	115
5.6.5	ESTIMACION DE RIESGOS A LA SALUD EN EL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	119
5.6.6	IDENTIFICACION DE RIESGOS A LA SALUD EN EL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA DE RESIDUOS PELIGROSOS	120
5.6.7	RIESGOS EN LA TRANSPORTACION DE RESIDUOS PELIGROSOS	120
5.6.8	EVENTOS NATURALES	121
5.7	ELEMENTOS QUE PRESENTAN PROBLEMAS EN LA INCINERACION	121
5.8	CONSIDERACIONES EN LA SELECCION DE LOS EQUIPOS DE CONTROL PARA LA CONTAMINACION AMBIENTAL	124
5.8.1	FACTORES EN LA SELECCION DEL EQUIPO DE CONTROL	125
5.8.1.1	CONSIDERACIONES DE INSTALACION	125
5.8.1.2	CONSIDERACIONES DE INGENIERIA DE PROCESOS	125
5.8.1.3	CONSIDERACIONES ECONOMICAS	126
5.8.2	COMPARACION DE ALTERNATIVAS DEL EQUIPO DE CONTROL	127
5.9	MEDICION Y MECANISMOS PARA LA RECOLECCION DE POLVO	135
<b>CAPITULO 6 Criterios de Diseño del Equipo Auxiliar de Control de Emisiones al Aire</b>		<b>136</b>
6.1	DESCRIPCION DEL INCINERADOR PROPUESTO	136
6.2	LAVADORES	139
6.2.1	SELECCION DEL TIPO DE LAVADOR	140
6.2.2	LAVADOR VENTURI	141
6.2.3	VARIABLES DE DISEÑO DEL LAVADOR VENTURI	141
6.2.3.1	FLUJO DEL SISTEMA GASEOSO	141
6.2.3.2	CAIDA DE PRESION	142

6.2.3.3	TEMPERATURA	143
6.2.3.4	EFICIENCIA	144
6.2.3.5	TAMAÑO DE PARTICULA	145
6.2.3.6	RELACION AGUA - GAS	146
6.2.3.7	MATERIALES DE CONSTRUCCION	147
6.2.4	VARIABLES DE OPERACION	147
6.2.4.1	RECOLECCION DE LAS PARTICULAS EN LAS GOTITAS DE AGUA	147
6.2.4.1.1	SEPARACION DE LAS GOTITAS DE AGUA SUCIA	148
6.2.4.2	EFICIENCIA	148
6.2.4.2.1	EFFECTOS DE LA CAIDA DE PRESION SOBRE LA EFICIENCIA	148
6.2.4.2.2	EFFECTOS DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS EN LA EFICIENCIA	148
6.2.5	ALGORITMO DE CALCULO PARA EL EL LAVADOR VENTURI	149
6.2.5.1	DATOS REQUERIDOS	149
6.2.5.2	VARIABLES DE DISEÑO DEL LAVADOR VENTURI!	149
6.2.6	RESULTADOS PARA EL DISEÑO DEL LAVADOR PROPUESTO	149
6.3	FILTROS DE TELA	150
6.3.1	FILTROS DE TELA DE TEJIDO PLANO	150
6.3.2	FILTROS DE TELA CON FIELTRO	151
6.3.3	PROPIEDADES DE TELAS DE FILTRO	151
6.3.3.1	PERMEABILIDAD	151
6.3.3.2	RESISTENCIA MECANICA	152
6.3.3.3	RETENCION DE SOLIDOS	152
6.3.3.4	RESISTENCIA A LA CORROSION	152
6.3.3.5	RESISTENCIA TERMICA	152
6.3.3.6	CAPACIDAD DE LIMPIADO	152
6.3.3.7	ESTABILIDAD DIMENSIONAL	152
6.3.4	VARIABLES DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE FILTRACION	153
6.3.4.1	TIPO DE TELA	153
6.3.4.2	METODOS DE LIMPIEZA	155
6.3.4.3	RELACION DE FILTRACION	157
6.3.4.4	CONFIGURACION DE LA CASA DE BOLSAS	159
6.3.4.5	MATERIAL DE CONSTRUCCION	160
6.3.5	COMPARACION DE LOS METODOS DE LIMPIEZA	160
6.3.5.1	SACUDIMIENTO MECANICO	160
6.3.5.2	INVERSION DEL FLUJO DE AIRE	161
6.3.5.3	CHOQUES DE IMPULSOS	161

6.3.6	FABRICACION DE CASAS DE BOLSAS	162
6.3.6.1	DISEÑO MODULAR	162
6.3.6.2	SUBMONTAJE SOLDADO EN FABRICA	163
6.3.7	DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE OPERACION DE UNA CASA DE BOLSAS	163
6.3.7.1	EFICIENCIA DE COLECCION	163
6.3.7.2	CAIDA DE PRESION EN EL SISTEMA	163
6.3.8	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CASAS DE BOLSAS	165
6.3.8.1	VENTAJAS	165
6.3.8.2	DESVENTAJAS	166
6.3.9	MANTENIMIENTO DE LAS CASAS DE BOLSAS	166
6.3.10	ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LOS FILTROS DE BOLSA	167
6.3.10.1	VARIABLES DE DISEÑO PARA LA FABRICACION DE LAS CASAS DE BOLSAS	167
6.3.10.2	EVALUACION QUE PERMITA SU APLICACION	167
6.3.11	RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE LA CASA DE BOLSAS	168
6.4	DESCRIPCION DEL PROCESO	168
<b>CAPITULO 7</b>	<b>EVALUACION DE COSTOS DE SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE (Filtro de bolsas y Lavador Venturi)</b>	<b>170</b>
7.1	FACTORES PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE CAPITAL Y DE COSTOS DE OPERACION	170
7.2	FACTORES PARA EQUIPO DE CONTAMINACION DE AIRE	171
7.3	AJUSTES DEL FACTOR DE COSTO	171
7.4	ILUSTRANDO EL PROCEDIMIENTO	174
7.5	ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION ANUALIZADOS	175
7.6	ESTIMACION DEL COSTO DE SERVICIO	178
7.7	ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION INDIRECTOS	179
7.8	COSTOS DE CAPITAL Y ANUALES DE FILTROS DE TELA	180
7.8.1	COSTOS DE CAPITAL TOTAL	180
7.8.1a	ESTRUCTURA DEL COSTO	181

7.8.1b	ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE EQUIPO COMPRADO (PEC) Y ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL TOTAL (TCC)	183
7.8.2	ESTIMACION DEL COSTO ANUAL PARA SISTEMAS DE FILTROS DE TELA	183
7.8.2a	ESTIMACION DEL COSTO DIRECTO	183
7.8.2b	COSTOS INDIRECTOS	187
7.9	ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL Y ANUAL PARA LAVADORES VENTURI	188
7.9.1	ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL DE LAVADORES VENTURI	188
7.9.2	COSTOS ANUALES DE LAVADORES VENTURI	193
7.9.2a	ESTIMACION DEL COSTO ANUAL DIRECTO	194
7.9.2b	ESTIMACION DEL COSTO ANUALE INDIRECTO	195
7.10	ESTIMACION DEL COSTO DEL EQUIPO AUXILIAR	195
7.10.1	ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL VENTILADOR	196
7.10.2	ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL CONDUCTO DE TRABAJO	199
7.10.3	ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DE LA CHIMENEA	202
7.10.4	ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL REGULADOR DE TIRO	203
7.11	EJEMPLO PROBLEMA	206
7.11.1	RESULTADOS DEL CALCULO DEL COSTO DE CAPITAL Y ANUAL DEL FILTRO DE TELA	206
7.11.1.1	COSTOS DE CAPITAL TOTAL	206
7.11.1.2	COSTOS ANUALES DEL FILTRO DE TELA	207
7.11.2	RESULTADOS DEL CALCULO DEL COSTO DE DE CAPITAL Y ANUAL DEL LAVADOR VENTURI	210
7.11.2.1	COSTO DE CAPITAL PARA EL PARA EL LAVADOR VENTURI	210
7.11.2.2	COSTOS ANUALES PARA EL LAVADOR VENTURI	211
7.11.3	RESULTADOS DEL CALCULO DE LOS COSTOS PARA EQUIPO AUXILIAR	212
7.11.3.1	COSTO DE COMPRA DEL VENTILADOR	212
7.11.3.2	COSTO DE COMPRA DEL CONDUCTO DE TRABAJO	213
7.11.3.3	COSTO DE COMPRA DE LA CHIMENEA	213
7.11.3.4	COSTO DE COMPRA DEL REGULADOR DE TIRO	213

**CAPITULO 8 CONCLUSIONES****214****BIBLIOGRAFIA****219**

<b>No.</b>	<b>Índice de Tablas</b>	<b>Página</b>
3.1	Composición del aire limpio y seco	5
3.2	Propiedades del aire seco y libre de contaminantes	6
3.3	Características de las partículas	14
3.4	Clasificaciones de los contaminantes	24
3.5	Fuentes de contaminación	26
3.6	Clasificaciones de las fuentes que generan emisiones de contaminantes al aire	27
3.7	Tipos de contaminantes en el ambiente	28
3.8	Características de los principales contaminantes	31
4.1	Parámetros básicos en la caracterización de un residuo acuoso	41
4.2	Métodos de tratamiento, para los residuos líquidos	44
4.3	Clasificación general de los residuos sólidos	48
4.4	Clasificación de los residuos peligrosos biológicos-infecciosos	49
4.5	Métodos de tratamiento, transporte y disposición de residuos hospitalarios	53
4.6	Comparación de los procesos de disposición final de residuos sólidos hospitalarios, en Alemania	55
4.7	Historial en el control de emisión en chimenea de incineradores de residuos	56
4.8	Emisiones de Estados Unidos en chimenea de incineradores de residuos	58
4.9	Comparación de las normas de emisión para incineradores en Estados Unidos y Alemania	60
4.10	Niveles máximos de emisión a la atmósfera de los equipos de incineración, según el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1994. Secretaría de Desarrollo Social	82
4.11	Información preliminar que debe presentar una empresa para evaluar la autorización y operación de infraestructura para residuos peligrosos	88
5.1	Contaminantes generados durante la combustión de residuos	104
5.2	Tendencia de tratamiento y disposición final de residuos de algunos países	109

No.	Índice de Tablas	Página
5.3	Rutas posibles de exposición indirecta a través de distintos medios	116
5.4	Lista de residuos que no deben ser incinerados	123
5.5	Fuentes industriales de contaminación y equipos comunes de control	128
5.6	Ventajas y desventajas de equipos de control de partículas para incineración	129
6.1	Resultados de la evaluación isocinética del incinerador	138
6.2	Aplicaciones típicas del lavador venturi	141
6.3	Tamaño de partículas de las gotitas generadas en un lavador venturi	147
6.4	Resultados para el diseño del lavador venturi	149
6.5	Fibras para tela de filtración	154
6.6	Relación de filtración (A/C) recomendadas para varios polvos y vapores por su método de limpieza	158
6.7	Factores para obtener el espesor de la tela	159
6.8	Comparación de los métodos de limpieza en las casas de bolsas	162
6.9	Resultados para el diseño de la casa de bolsas	168
7.1	Factores de costo promedio para equipo elegido de control de contaminación de aire	172
7.2	Ajustes para categorías de costo seleccionadas	173
7.3	Obtención del precio base	174
7.4	Costos de operación y factores para sistemas de control de contaminación de aire	176
7.5	Estimado de horas de trabajo por turno	177
7.6	Guía para la vida de equipo y partes	178
7.7	Nomenclatura	179
7.8	Precios de bolsas	181
7.9	Factores de costo de capital para lavador venturi	186
7.10	Costos anuales para filtros de tela	188
7.11	Factores de costo de capital para lavador venturi	193
7.12	Factores de costo anual para lavadores venturi	194
7.13	Identificación de parámetros de diseño para el equipo auxiliar	196
7.14	Caidas de presión supuestas a través de varios componentes	197
7.15	Clasificación de los ventiladores curvos hacia atrás	199
7.16	Cuadro resumen de los costos del equipo principal y auxiliar	213

No.	Índice de Figuras	Página
3.1	Diagrama esquemático de las reacciones principales de día para contaminación y esmog fotoquímico y deposición ácida	20
3.2	Diagrama esquemático de las reacciones relevantes de noche para contaminación y esmog fotoquímico y deposición ácida	23
4.1	Administración de los residuos	38
4.2	Estrategia general en la disposición de los residuos líquidos	43
4.3	Rapidez de generación de residuos sólidos en la Cd. de México, D.F.	51
4.4	Método principal para la disposición de los residuos sólidos hospitalarios	54
5A	Generación de dioxinas y furanos en una combustión en presencia de cloro	118
5.1a	Análisis general para el diseño de equipo de control de contaminación de aire	130
5.1b	Análisis general para el diseño de equipo de control de contaminación de aire	131
5.1c	Análisis general para el diseño de equipo de control de contaminación de aire	132
5.1d	Análisis general para el diseño de equipo de control de contaminación de aire	133
5.1e	Análisis general para el diseño de equipo de control de contaminación de aire	134
7.1	Precios para presión negativa de sistemas de filtros de tela aislados	182
7.2	Precios para lavadores venturi	190
7.3	Espesores de acero requeridos para lavadores venturi	191
7.4	Factores de ajuste de precio para lavadores venturi	192
7.5	Precios de ventiladores	198
7.6	Precio de fabricación del ducto recto de acero al carbón a diferentes espesores	200
7.7	Precio de fabricación del ducto recto de acero inoxidable a diferentes espesores	201
7.8	Precio de fabricación de la chimenea de acero al carbón para placa de 1/4 de pulgada	204
7.9	Precio de fabricación de la chimenea de acero al carbón para placas de 5/16 in y 3/8 in	205

No.	Índice de Ecuaciones	Página
3.1		12
3.2		17
3.3		18
3.4		18
3.5		18
3.6		18
3.7		19
6.1		142
6.2		142
6.3		143
6.4		144
6.5		144
6.6		145
6.7		146
6.8		157
6.9		157
6.10		163
6.11		164
6.12		164
6.13		164
6.14		164
7.1		178
7.2		178
7.3		179
7.4		183
7.5		184
7.6		184
7.7		194
7.8		202
7.9		203
7.10		203
7.11		206



# 1 OBJETIVOS

Los principales objetivos que se plantean en la realización de esta tesis denominada "CRITERIOS DE DISEÑO DEL EQUIPO AUXILIAR DE CONTROL DE EMISIONES AL AIRE PARA UN INCINERADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS"; son los siguientes:

- 1.1 Mencionar la problemática en el manejo de los diferentes tipos de residuos.
- 1.2 Confirmar que el Proceso de Incineración de Residuos Sólidos es un medio de eliminación de contaminantes.
- 1.3 Incluir como antecedente la Legislación Ambiental Internacional a la cual deben apegarse las plantas de incineración.
- 1.4 Indicar la Legislación Ambiental Nacional a la cual deben apegarse las plantas de incineración.
- 1.5 Plantear las experiencias que en el control de residuos sólidos han tenido varios países utilizando plantas de incineración.
- 1.6 Definir los riesgos asociados al proceso de incineración de residuos.
- 1.7 Proponer los Equipos de Control ambientalmente adecuados para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.
- 1.8 Desarrollar el Diseño de los Equipos de Control de Emisiones al aire de un incinerador de residuos sólidos hospitalarios.
- 1.9 Evaluar los costos de los Equipos de Control de Emisiones al aire de un incinerador de residuos sólidos hospitalarios.

## 2 INTRODUCCION

El avance tecnológico ha permitido que el hombre en la época actual pueda vivir cómodamente y consumir una gran cantidad de productos. No obstante, esto ha traído consigo muchos problemas ambientales. Un ejemplo claro de ello son los residuos sólidos que se producen en la industria o los desechos de productos que generamos en el hogar, los cuales eventualmente pueden ser peligrosos. El problema es tan grande que algunos países los "exportan" a otros lugares. Por ejemplo, Estados Unidos exportó en 1985, 203 mil toneladas de desechos peligrosos, mientras que Alemania envió al exterior 1.6 millones de toneladas de estos residuos. En general, estos desperdicios van a dar a los países más pobres, donde no se tiene suficiente fuerza económica para impedirlo y mucho menos se cuenta con la infraestructura técnica para su tratamiento. La problemática sobre los residuos, sus tipos, métodos de disposición final, así como la Legislación Ambiental tanto Internacional como Nacional, es presentada en el Capítulo 4, "ESTUDIO AMBIENTAL" de este trabajo.

Una alternativa que se tiene para la eliminación de los residuos sólidos es la que se conoce con el nombre de Incineración. Este tema es presentado más ampliamente en el Capítulo 5, "ESTUDIO TECNICO". Por el momento es importante saber que la Incineración de los residuos sólidos municipales, es una práctica muy antigua realizada en sus inicios con métodos rudimentarios. La ceniza resultante de esta operación, normalmente se utilizaba como un elemento auxiliar en la agricultura. Estas prácticas poco eficientes e inseguras, con el tiempo se volvieron altamente contaminantes, por lo que fueron gradualmente sustituidas por procesos más complejos y eficientes, hasta llegar a los modernos y avanzados sistemas de Incineración que existen en la actualidad.

Las primeras instalaciones de las que se tiene memoria para la Incineración de residuos sólidos municipales, se construyeron en el Continente Europeo a finales del siglo pasado. Ejemplo de ellas, es el Incinerador construido en el año de 1874, en la Ciudad de Nottingham, Inglaterra.

Sin embargo, fue a partir del inicio de este siglo, que los incineradores empezaron a ser utilizados más ampliamente como una forma de eliminación de los residuos sólidos urbanos.

Resultado de esta situación, fue que a finales de la segunda década de este siglo, operaban en Europa alrededor de 300 instalaciones para la Incineración de residuos sólidos municipales, mientras que en los E.U.A. , existían cerca de 200 plantas de Incineración operando con regularidad. A partir de los años 50's, se inició la automatización de los incineradores, dando como resultado, instalaciones más eficientes.

En México, la incineración no es un proceso desconocido, tan es así que la civilización Mexica tenía un organizado sistema de limpieza pública, donde se incineraban algunas basuras con el propósito de iluminar las periferias de la Ciudad de Tenochtitlan. Mucho tiempo después, hacia 1860, se consideró la posibilidad de instalar un Incinerador municipal para la Ciudad de México, proyecto que fue desechado dada la difícil situación política por la que atravesaba el país; aspecto que no ha cambiado mucho en estos momentos, al presentar analogías tanto sociales, políticas como económicas muy similares, pero mucho más complejas, al estar inmersos en una economía globalizadora y muy dinámica, y en donde México no cuenta con la infraestructura suficiente para dar un manejo adecuado a la diversidad de residuos urbanos e industriales que se generan actualmente, por lo que es de vital importancia evaluar y analizar las diferentes tecnologías disponibles en el mundo para el control de dichos residuos, con el fin de orientar la política ambiental de nuestro país por senderos más acordes a nuestras peculiaridades y real problemática. En este sentido, los procesos térmicos para el tratamiento de los residuos, ocupan un significativo espacio en el mundo, por lo que es necesario valorar sus perspectivas de desarrollo en nuestro país.

No obstante que la tecnología de la Incineración de los residuos sólidos municipales ha logrado enormes avances en los últimos años, el control de la contaminación ambiental sigue siendo el principal problema por resolver, puesto que aún, cuando existan los dispositivos para satisfacer los estándares de control ambiental más estrictos, el costo asociado es tan elevado, que en muchas ocasiones esta tecnología resulta ser verdaderamente prohibitiva. En el Capítulo 6, " DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE CONTROL PARA UN INCINERADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS " , se presentan los cálculos para dichos equipos para 1 Ton / día de residuo hospitalario. En el Capítulo 7 " EVALUACIÓN DE COSTOS DE SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AIRE ( Casa de Bolsas y Lavador Venturi ) " , se expone el aspecto económico de estos equipos de control de emisiones.

En el Capítulo 3 , " GENERALIDADES " , no menos importante, contiene lo relacionado con el aire y sus principales contaminantes.

Finalmente, en el Capítulo 8, " CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES " , como su nombre lo indica se dan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

# 3 GENERALIDADES

## 3.1 CONTAMINACION ATMOSFERICA

La contaminación del aire no es, en realidad, un fenómeno nuevo, ya que el humo liberado por el fuego de la cocina o del calefactor, los olores que provienen de desechos domésticos (aguas negras y basura) han sido una característica de los lugares que el hombre ha habitado desde que comenzó a agruparse en grandes comunidades. Sin embargo, durante el siglo XIX, en los países desarrollados, dado que cambiaron los métodos de eliminación de basura, tratamiento de aguas negras, calefacción y cocción domésticas, disminuyeron las formas tradicionales de contaminación del aire (humo y olores) y fueron reemplazadas por nuevos contaminantes del aire, los cuales son producto de la cambiante sociedad urbana industrial. En su conjunto la mayor parte de los problemas de contaminación del aire son hoy día resultado de las actividades industriales y de los medios de transporte, en otras palabras, consecuencia del uso de la energía generada por el petróleo y sus derivados, así como el carbón y gases combustibles.

El aire es una mezcla de gases que rodean la Tierra en una capa relativamente delgada. La mayor parte del aire ( 95 % ) se encuentra dentro de los primeros 20 km, sobre el nivel del mar, por encima de los cuales disminuye en densidad hasta desvanecerse de manera gradual en el vacío del espacio, algunos cientos de kilómetros sobre la superficie de la Tierra. La parte más baja de dicha capa, la Troposfera, tiene aproximadamente 8 km. de espesor en los polos de la Tierra, y cerca del doble en el Ecuador. En su mayor parte, las actividades productivas del hombre moderno se realizan sobre la superficie de la Tierra dentro de los primeros 2 km. de la atmósfera; los contaminantes generados por estas actividades se filtran directamente en la troposfera donde son mezclados y transportados.

La masa de aire que circunda a la Tierra se estima que pesa 5200 billones de toneladas, aproximadamente. Así, 1 200 billones de toneladas de oxígeno pueden parecer una cantidad inagotable. Sin embargo, si dividimos tal cantidad por el número de habitantes de la Tierra, veremos que a cada uno nos tocan 240 000 toneladas. Un ser humano respira alrededor de 15 m<sup>3</sup> de aire al día, que corresponden a 4.5 kg. de oxígeno. Si el oxígeno hubiera que utilizarlo únicamente para la respiración humana, alcanzaría para 150 000 años, período largo respecto de la vida de un hombre, pero insignificante si se le compara con el tiempo desde que apareció la vida sobre la Tierra.

Pero el hombre y todas las otras especies vivientes consumen oxígeno en menor cantidad que el oxígeno que se usa para alimentar los procesos de combustión que hacen funcionar a las máquinas y que nos proveen de energía. Esto significa que debe existir algún tipo de mecanismo que reabastezca continuamente a la atmósfera de oxígeno. Este mecanismo, como sabemos, se halla vinculado a la existencia y vida de las plantas.

Los principales componentes del aire, nitrógeno (78%), oxígeno (20.94%) y argón (0.93%), no reaccionan entre sí bajo circunstancias normales. Asimismo las pequeñas cantidades de helio, neón, criptón, xenón, hidrógeno y óxido nítrico tienen poca o ninguna interacción con otras moléculas, sin embargo existen. Algunos otros gases, también presentes en pequeñas cantidades pero que no son químicamente inertes, sino que interactúan con la biosfera, la hidrosfera y entre ellos mismos; en consecuencia, esos gases tienen un tiempo de permanencia limitado en la atmósfera y concentraciones característicamente variables ver Tabla (3.1). Los gases reactivos de este tipo son los que se consideran contaminantes cuando los produce el hombre en cantidades suficientemente elevadas como para exceder en forma significativa a las concentraciones normales del ambiente señaladas en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1 COMPOSICION DEL AIRE LIMPIO Y SECO<sup>F</sup>

	Símbolo químico	Peso molecular	Concentración <sup>F</sup> (porcentaje en volumen)	Tiempo de residencia calculado
<b>Gases principales</b>				
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28 016	78.09	Continuo
Oxígeno	O <sub>2</sub>	32 000	20.95	Continuo
Argón	Ar	39 944	0.93	Continuo
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44 010	0.03 <sup>11</sup>	20 años <sup>7</sup>
<b>Gases raros</b>				
a) Gases permanentes (no reactivos)				
Helio	He	4 003	partes por millón (ppm) (por volumen)	
Neón	Ne	20 183	5.2	Continuo
Criptón	Kr	83 800	18.0	Continuo
Xenón	Xe	131 300	1.1	Continuo
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	2 016	0.086	Continuo
Oxido nítrico	N <sub>2</sub> O	44 010	0.5	8-10 años
			1.0	
b) Gases reactivos				
Monóxido de carbono	CO	28 01		0.2-0.3
Metano	CH <sub>4</sub>	16 04	0.1	< 2 años
Hydrocarburos excepto el metano	'HC'	variable	1.4	Variable
Oxido nítrico	NO	30 00	0.02	2-8 días
Bióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	46 00	0.2 a 2.0 × 10 <sup>-1</sup>	2-8 días
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	17 03	0.5 a 4.0 × 10 <sup>-1</sup>	1-4 días
Bióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64 06	6.0 a 20.0 × 10 <sup>-1</sup>	1-6 días
Ozono	O <sub>3</sub>	48 00	0.03 a 1.2 × 10 <sup>-1</sup>	4 horas
			0.01	

<sup>f</sup> Fuente: Contaminación del aire. W Strauss, S.J. Mainwaring. Trillas. Pág. 10.

<sup>g</sup> Esta es la concentración ambiental atmosférica y no las concentraciones que se encuentran en áreas contaminadas. Cuando se da un rango de concentraciones, éste indica que las midieron distintos trabajadores en diferentes lugares.

<sup>h</sup> Concentración mínima de CO<sub>2</sub> , medida lejos de centros de población. En centros de población, las concentraciones de CO<sub>2</sub> varían desde aproximadamente 0.034 hasta 0.035%.

<sup>j</sup> Para fotosíntesis. El tiempo de intercambio con el océano profundo es del orden de siglos.

En la Tabla (3.2) aparecen algunas propiedades físico-químicas del aire seco y libre de contaminantes.

Tabla 3.2 PROPIEDADES DEL AIRE SECO Y LIBRE DE CONTAMINANTES <sup>f</sup>	
Densidad a 0°C y 1 000 mb de presión	$1.276 \times 10^{-3}$ g/cm <sup>3</sup>
Calor específico a presión constante a 0°C	0.24 cal/(g)(°C)
Calor específico a volumen constante a 0°C	0.17 cal/(g)(°C)
Relación de calores específicos	1.405
Peso molecular promedio	28.9
OTRAS PROPIEDADES DEL AIRE A CONDICIONES ESTANDAR Y A NIVEL DEL MAR <sup>g</sup>	
Temperatura	15 °C
Presión	101 325 kPa
Densidad	1 225 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	12 01 N/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica	$1.789 \times 10^{-5}$ Pa · s
Viscosidad cinemática	$1.460 \times 10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s

<sup>f</sup> Fuente: Norman E. Bowne y John E. Yocum  
A chemical engineer's guide to meteorology  
Chemical Engineering, julio 30, 1979.  
Vol. 86, No. 18, pag. 58.

<sup>g</sup> Fuente: Robert L. Mott. Applied Fluid Mechanics. Pág. 545.

Cuando decimos que la fracción molecular del oxígeno es de 20.94% , entendemos que por cada 10000 moléculas totales que están presentes en el aire, hay 2094 moléculas de oxígeno (dentro de la precisión que permiten nuestras mediciones). Puesto que a la misma presión un 'igual número de moléculas de cualquier gas ocupa el mismo volumen, a la fracción molecular se le llama también fracción de volumen.

Para las sustancias presentes en menor cantidad, en vez del porcentaje se usan las partes por millón ( que se abrevia ppm ). Una concentración de 18 ppm significa que en cada millón de moléculas hay 18 de una cierta sustancia. Puesto que un millón es igual a 10000 veces 100, para pasar del porcentaje a las ppm basta multiplicar por 10000. Podemos decir, por ejemplo, que la concentración del bióxido de carbono es de 0.032% , o de 320 ppm.

El porcentaje en peso, en cambio, indica la cantidad de gramos de una cierta sustancia, que hay en cada 100 g de aire. Debido a que las moléculas de las diversas sustancias poseen pesos distintos, los porcentajes en peso son un poco diferentes de los de volumen.

Ahora bien, para definir el término contaminación atmosférica se tiene que hacer referencia a la composición del aire limpio y seco ver Tabla(3.1)

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire de sustancias extrañas, sean éstas gaseosas, sólidas o una combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia tal que pueden provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y el paisaje.

### 3.2 CLASIFICACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

Existe una variedad tan grande entre las sustancias capaces de permanecer en el aire, que resulta difícil establecer una clasificación ordenada de las mismas. Sin embargo, empezamos por dividir los contaminantes atmosféricos en dos grandes grupos:

#### 3.2.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Son aquellos que provienen directamente de las fuentes de emisión. Estos contaminantes primarios significan más del noventa por ciento del problema de la contaminación atmosférica extendida por todo el mundo y son los siguientes :

1. Monóxido de carbono (CO)
2. Oxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
3. Hidrocarburos
4. Oxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)
5. Partículas

## 1. MONOXIDO DE CARBONO (CO)

Es el principal contaminante toxico o venenoso, ya que en el proceso respiratorio es absorbido en los pulmones y compite con el oxigeno del aire. Tanto las fuentes naturales como las antropogenicas (origen humano) contribuyen a los niveles atmosféricos de monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono se forma en todos los procesos de combustión en los que se halla presente el oxigeno suficiente, o en los que los gases de la combustión no permanecen en contacto con el oxigeno el tiempo que se precisaria para completar la transformacion del carbono en bioxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por esta razón, la mayor parte del monóxido de carbono se produce en los medios de transporte, que contribuyen con cerca del 70% de la cantidad emitida total. Los vehiculos de motor, y especialmente los de gasolina, en tanto que los aéreos, los ferroviarios y las embarcaciones aportan una cantidad mucho menor.

Sin embargo, existen otras fuentes que contribuyen notablemente a la producción de monóxido de carbono: los incendios forestales, las quemas agricolas de maleza, residuos de cosechas y vegetacion, que se efectúan con los más diversos fines.

También algunas actividades industriales especificas agravan la contaminacion por monóxido de carbono. Recordemos entre éstas a la industria papelera (con uno de sus tratamientos quimicos que le da a la madera), la petroliera (proceso de fraccionamiento, o cracking) y de la fundición (enriquecimiento del mineral de hierro y producción de acero).

En ambientes cerrados, una de las fuentes de contaminacion por monóxido de carbono es el humo del tabaco, en el cual el contenido de CO puede llegar a 700 u 800 ppm. La exposicion continua en estos niveles provocaria gravísimos efectos patológicos, no es este el caso entre los fumadores, pero ello no impide que los niveles de carboxihemoglobina (un compuesto formado por la union del CO con la hemoglobina de la sangre) sean, en un fumador, alrededor del 7% , en tanto que en un no fumador que viva en un aire limpio alcanzan solamente el 0.5 por ciento.

La concentracion de monóxido de carbono en las ciudades, a causa del tráfico, es muy superior a las 0.1 ppm que constituyen el valor normal de un aire no contaminado. En las zonas donde el tráfico es pesado y existen además barreras arquitectónicas, como pasajes subterráneos o galerias que impidan la libre circulacion del aire, se pueden alcanzar, durante algunos segundos, concentraciones de 150 ó 200 ppm. Este es, obviamente, un caso limite, pero no son raras las medidas de 30 ó 40 ppm en los centros de las ciudades, y de 4 a 5 ppm en las zonas residenciales.



## 2. OXIDOS DE NITROGENO (NO<sub>x</sub>)

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, pero normalmente sólo se detectan tres de ellos en la atmósfera. Son el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el óxido nítrico (NO) y el óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Tanto las fuentes naturales como las antropogénicas contribuyen a los niveles atmosféricos; aunque los óxidos de nitrógeno se distribuyen de manera muy marcada. Casi todo el N<sub>2</sub>O atmosférico procede de fuentes naturales. El NO atmosférico proviene tanto de fuentes naturales (80%) como antropogénicas (20%), mientras que casi todo el NO<sub>2</sub> emitido hacia la atmósfera es de origen antropogénico.

Casi todos los NO y NO<sub>2</sub> antropogénicos se producen por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante la combustión a temperaturas elevadas. Este es un elemento importante que es preciso tomar en cuenta al diseñar quemadores, con el fin de mantener los niveles de emisiones en los valores más bajos que sea posible. De hecho, en todos los procesos de combustión se utiliza aire, en el cual están presentes el oxígeno y el nitrógeno.

En efecto, de los cerca de 50 millones de toneladas de NO<sub>x</sub> que se emiten anualmente en todo el mundo, más del 90% provienen de procesos de combustión que quedan repartidos a partes más o menos iguales entre las combustiones que se efectúan en instalaciones fijas, civiles e industriales, y las que se realizan en el sistema de transportes.

Las emisiones de origen humano que se introducen a la atmósfera ocurren en áreas restringidas. Esto hace por supuesto, que en las zonas donde se reúnen grandes cantidades de habitantes o de industrias, particularmente cuando las condiciones meteorológicas son desfavorables, la concentración de óxidos de nitrógeno en el aire se incremente en forma dramática, con respecto a los valores normales de la atmósfera.

De hecho, la concentración media diaria puede alcanzar entre 0.4 y 0.5 ppm, o sea, valores de 400 a 500 veces superiores a los que son característicos de un aire no contaminado.

En un aire contaminado, hay otros procesos que provocan la transformación en bióxido de nitrógeno, estos procesos consisten en reacciones con sustancias muy oxidantes, como el ozono (O<sub>3</sub>), o muy reactivas, como el HO<sub>2</sub>.

Hay dos formas generales para controlar las emisiones de NO<sub>x</sub>:

- A) Modificar la fuente para reducir la cantidad de NO<sub>x</sub> generados.
- B) Eliminar los NO<sub>x</sub> de los gases de escape antes de liberarlos a la atmósfera.

### 3. HIDROCARBUROS .

La energía proveniente de la combustión se obtiene quemando carbón o hidrocarburos, el metano, es el compuesto más simple de esta clase de sustancias.

Las distintas categorías de hidrocarburos poseen diversas propiedades, aplicaciones y nocividad. Una de las características comunes es que el estado en que se presentan depende del número de átomos de carbono. Así, el metano, el etano y el etileno son gases, a la temperatura ambiente; el pentano es líquido, al igual que el isoctano y el benceno, en tanto que el benzopireno es sólido.

Los hidrocarburos que utilizamos provienen de yacimientos que se hallan en las entrañas de la Tierra bajo la forma de gas, esencialmente metano, en forma líquida el petróleo y en forma sólida el carbón. El petróleo es una mezcla muy compleja de hidrocarburos, cuya composición varía según el yacimiento; éste proviene de la descomposición de materia orgánica, realizada en el transcurso de millones de años.

Por esta razón, junto con los hidrocarburos que constituyen su parte principal, el petróleo contiene también moléculas orgánicas en las que figuran el azufre, el nitrógeno, etc., además de metales como níquel, vanadio, hierro, zinc o mercurio, en concentraciones medias que varían desde los 150 mg por kg de petróleo en el caso del níquel, hasta 3 o 4 mg por kg, en el mercurio. En menores concentraciones se encuentran igualmente presentes otros metales (cobre, cobalto, plomo, manganeso, etc.).

Además de usarse como combustibles, los hidrocarburos se utilizan también como materia prima en la industria química, para la obtención de medicamentos, cosméticos, materiales plásticos. En ninguno de los dos casos se puede usar el petróleo tal como viene, sino que mediante destilaciones u otros procesos, se obtienen de él hidrocarburos aislados, o mezclas menos complejas. Ya sea en esta operación, o ya en la subsiguiente utilización en la industria, lo cierto es que se provoca la introducción de los hidrocarburos en el aire.

Hay algunas actividades vinculadas con la agricultura, como la combustión del rastrojo o la torrefacción del café, que igualmente provocan la introducción de hidrocarburos en el aire.

Otra de las fuentes es la incineración de los desechos sólidos. Los incineradores no siempre funcionan de manera apropiada; por ejemplo, la combustión no se realiza a las temperaturas adecuadas, o bien con los dispositivos para el abatimiento de los contaminantes que contienen los gases de la combustión y no se mantienen en condiciones de eficiencia perfecta. En estos casos, los incineradores pueden arrojar al aire hidrocarburos polinucleares del tipo del benzopireno. En este aspecto, los grandes incineradores municipales son menos peligrosos; de hecho, emiten cantidades muchísimo más pequeñas de hidrocarburos polinucleares, por tonelada de desechos tratados, que las pequeñas unidades comerciales.

En conjunto, los hidrocarburos de origen humano que se emiten anualmente en todo el mundo alcanzan el centenar de millones de toneladas. De esta cantidad, la mayor parte está constituida por metano, que es el menos reactivo; éste, sin embargo, al igual que los demás hidrocarburos, participa en la cadena de reacciones que desembocan en el esmog fotoquímico.

Para controlar las emisiones de hidrocarburos procedentes de fuentes estacionarias se utilizan cuatro técnicas:

- A) Incineración
- B) Adsorción
- C) Absorción
- D) Condensación

#### 4. OXIDOS DE AZUFRE (SO<sub>x</sub>)

El óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); lo acompaña por lo común una pequeña cantidad de trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>); en conjunto ambos óxidos se designan como SO<sub>x</sub>. Las emisiones hacia la atmósfera proceden casi exclusivamente de fuentes antropogénicas; además dentro de la atmósfera se genera SO<sub>2</sub> como resultado de la oxidación del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

Las emisiones antropogénicas de óxidos de azufre proceden primariamente de la combustión del carbón del petróleo y sus derivados y de fundición de minerales sulfurados los cuales contribuyen de manera significativa en la generación del SO<sub>2</sub> en la atmósfera.

El petróleo contiene, además de hidrocarburos, otros compuestos con átomos de azufre. El porcentaje de azufre depende de la zona de procedencia, y puede llegar al 1%. Durante el fraccionamiento del crudo, el azufre se concentra en las fracciones que hierven a mayor temperatura, como el combustóleo, que son las que contienen hidrocarburos con mayor número de átomos de carbono. Y por el contrario, el azufre está prácticamente ausente en la gasolina y sólo presente en cantidades modestas en el gasóleo.

También el carbón contiene un porcentaje de azufre, que varía según la zona de donde provenga y que puede estar entre el 0.5 y el 2.5%.

La combustión en las instalaciones fijas como las fábricas y, sobre todo, las centrales termoeléctricas para la producción de energía, introduce al aire una notable cantidad de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Lo cierto es que tales plantas utilizan carbón o combustóleo, que con frecuencia presentan un alto contenido de azufre.

Durante el proceso de la combustión, el azufre que contiene el carbón se combina con el oxígeno del aire y se transforma en bióxido de azufre. Así, de los casi 130 millones de toneladas de  $\text{SO}_2$  que anualmente se arrojan al aire, aproximadamente el 70% proviene de combustiones que se realizan en instalaciones fijas. En comparación, parece despreciable la cantidad de bióxido de azufre proveniente de los medios de transporte

Por otra parte, los metales, en realidad se obtienen de minerales, buena parte de los cuales está formada por sulfuros, es decir, por metales que están en asociación con el azufre. El metal se obtiene tratando el sulfuro con oxígeno a altas temperaturas. En este proceso, al que se llama tueste, el azufre se transforma en  $\text{SO}_2$ ; y si bien buena parte de este bióxido de azufre se recupera, por ejemplo para la producción de ácido sulfúrico, una cierta cantidad de él pasa a la atmósfera

Al igual que el óxido nítrico, también el  $\text{SO}_2$  reacciona con el oxígeno a través de la siguiente reacción:



Afortunadamente, el equilibrio se desplaza hacia el  $\text{SO}_2$  a alta temperatura, en tanto que a baja temperatura la velocidad de la reacción es demasiado lenta como para que ocurra una transformación significativa en trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ). No obstante, esta transformación puede ocurrir por otras vías, como por ejemplo, en virtud de la reacción con el OH, y constituye una de las principales causas del fenómeno de las precipitaciones ácidas.

Aparte de los efectos tóxicos que ejerce sobre la salud del hombre, el  $\text{SO}_2$  provoca daños a las plantas, cuyas hojas se ponen amarillentas; el fenómeno químico interfiere con la formación y el funcionamiento de la clorofila. El efecto sobre las plantas se acentúa de manera particular cuando el bióxido de azufre se encuentra en presencia de ozono. A este fenómeno se le llama sinergia, vocablo que se refiere al efecto tóxico de dos sustancias, cuando están juntas, es mayor que la suma de los efectos de las sustancias actuando por separado. El sinergia ocurre a menudo en los fenómenos de contaminación; por ejemplo, la acción masiva de muchos contaminantes se ve incrementada por la presencia del particulado. Lo que sucede es que las diminutas partículas absorben la sustancia en su superficie y así la ayudan a llegar a la sangre, a través de las vías respiratorias.

El bióxido de azufre provoca daños incluso en algunos materiales, al aumentar en éstos, la velocidad de corrosión.

Para el control de la contaminación por  $\text{SO}_2$  hay dos hechos evidentes pero distintos desde el punto de vista conceptual que constituyen la base del control de la contaminación por  $\text{SO}_2$  procedente de las fuentes de combustión:

- A) Controlar (minimizar) el contenido de azufre del carburante antes de quemarlo.**
- B) Eliminar los SO<sub>x</sub>, de los gases de escape, antes de liberarlos a la atmósfera**

**Ambas soluciones difieren fundamentalmente; la primera requiere una precombustión y la segunda precisa medidas para después de la combustión**

## **5. PARTICULAS.**

En la atmósfera están igualmente presentes gotitas microscópicas de líquidos o de diminutas partículas sólidas, a las que de manera global se les da el nombre de partículas. Los términos aerosol y partículas se utilizan a veces indistintamente, pues los aerosoles se definen como dispersoides de sólidos o líquidos en el medio gaseoso, las palabras neblina, humo, emanación y polvo se usan para indicar orígenes particulados; las neblinas están compuestas por gotas de líquidos en suspensión. Los humos usualmente consisten en partículas de hollín producidas por combustión. Las emanaciones son vapores condensados de sustancias tanto orgánicas como metálicas y los polvos resultan de rotura mecánica de la materia sólida.

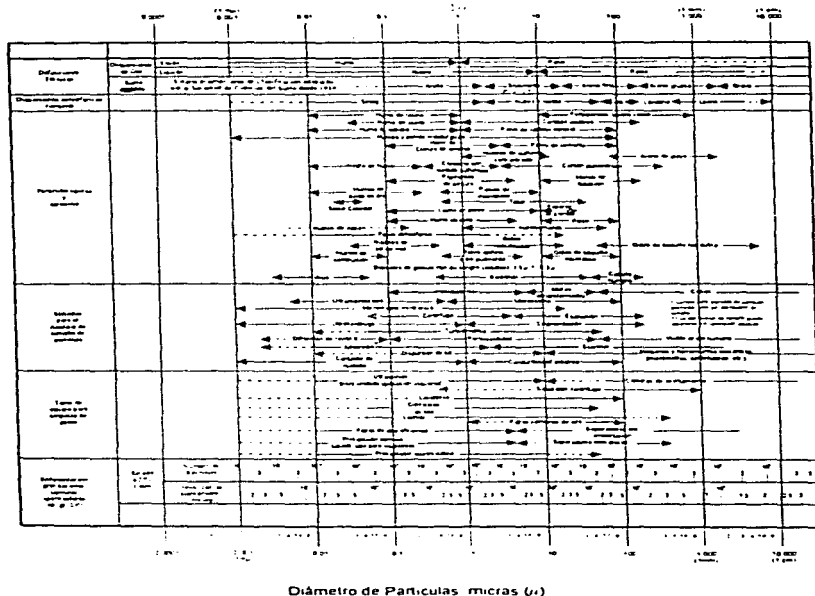
Tanto las partículas como las gotitas se pueden formar mediante diferentes mecanismos de condensación y de dispersión. Una parte de estos procesos, o mejor dicho, una vez más la mayor parte de ellos, si consideramos la atmósfera en su totalidad, son de origen natural. Pensemos, por ejemplo, en las menudas gotitas que provocan las olas al romper contra los arrecifes, o en el polvo que levanta el viento. Y luego están las erupciones volcánicas, así como las humaredas de los incendios de las selvas tropicales, además, ciertos tipos de selva emiten hidrocarburos particulares, a los que se conoce como terpenos.

Con todo, alrededor de 280 millones de toneladas de partículas (algo más del 10% de la cantidad total que ingresa a la atmósfera en un año) son de origen humano; como de costumbre, estos contaminantes se emiten en zonas limitadas de la Tierra.

El tamaño de las partículas se proporciona usualmente en términos de micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), unidad equivalente a la millonésima parte del metro, el tamaño de las partículas oscila entre  $0.0002 \mu\text{m}$  (ligeramente mayores que una molécula pequeña), hasta aproximadamente  $5\,000 \mu\text{m}$ , ver Tabla (3.3).

A las partículas cuyas dimensiones son inferiores a  $0.1$  micras se las denomina partículas Aitken; y aquellas con diámetro superior a  $1$  micra se llaman partículas gigantes.

Tabla 3.3 Características de las partículas



Las partículas de diámetro comprendido entre  $0.1\mu\text{m}$  y  $1\mu\text{m}$  son principalmente productos de combustión y aerosoles fotoquímicos. En la atmósfera las partículas menores de  $0.1\mu\text{m}$  muestran un comportamiento similar al de las moléculas, su movimiento es al azar con frecuentes colisiones con las moléculas gaseosas; además, chocan a menudo entre sí, se agrupan y forman agregados mayores en un proceso denominado coagulación. Las partículas mayores de  $1\mu\text{m}$  se comportan de manera muy distinta debido a que sufren una significativa deposición gravitacional; la eliminación gravitacional de partículas se denomina sedimentación.

La materia en partículas que permanece suspendida en la atmósfera durante prolongados periodos, se halla predominantemente en la gama de tamaños comprendidos entre  $0.1\mu\text{m}$  y  $10\mu\text{m}$ .

La experiencia común indica que todo lo que sube tiene que caer, y esto es ciertamente válido para las partículas sólidas o líquidas que se hallan suspendidas en el aire. Sin embargo, el propio aire ejerce un efecto retardante, a través de una fuerza proporcional a su volumen, es decir, al cubo del radio, se alcanzará una situación de equilibrio en la que la velocidad de caída será proporcional al cuadrado de las dimensiones.

No obstante, todas las partículas atmosféricas se depositan en la superficie terrestre. A modos de ejemplos, una partícula de  $0.1$  micras, o sea, la más grande de las partículas Aitken, emplearía 15 días para descender un metro, en tanto que la más pequeña de las partículas gigantes haría lo propio en 7 horas. Estos valores se refieren al aire en reposo, en la práctica, el tiempo de permanencia en el aire dependerá de la naturaleza de los vientos y de las precipitaciones. Lo importante, empero, es que las partículas pequeñas pueden permanecer en el aire durante mucho tiempo, una parte de ellas llega incluso a la estratosfera y, arrastradas por las corrientes, pueden recorrer enormes distancias. Al final, los choques fortuitos y la atracción recíproca hacen que la partícula se engrose (aglomeración) hasta el punto de alcanzar una velocidad de caída suficiente como para que llegue a depositarse en el suelo. Además de este mecanismo de precipitación en seco, estas partículas también pueden ser eliminadas de la atmósfera gracias a la lluvia, ya sea porque se incorporen a las gotas durante el mecanismo de formación de éstas (nubes), actuando frecuentemente como núcleos alrededor de los cuales se forma la gota, o ya porque sean barridas por la lluvia durante la caída de ésta.

El particulado atmosférico puede difundir la luz del sol, absorbiéndola y reemitiéndola en todas direcciones, el resultado de esto es que llega a la superficie de la Tierra una menor cantidad de la luz del sol. Este fenómeno origina efectos locales como, por ejemplo, disminución de la visibilidad, al igual que efectos mundiales, como una posible influencia sobre el clima. La presencia de las partículas favorece, además, la formación de niebla, debido a que las partículas les proporcionan a las microscópicas gotitas que constituyen la niebla, los núcleos en torno a los cuales condensarse.

La composición química de los contaminantes en partículas varía mucho, prácticamente, cualquier elemento o compuesto inorgánico, así como muchas sustancias orgánicas pueden hallarse en forma de partículas. La composición real depende mucho del origen de las partículas. Las partículas de polvo y de suelo contienen primariamente compuestos de calcio, aluminio y silicio, comunes en suelos y minerales. El humo procedente de la combustión contiene muchos compuestos orgánicos; estos últimos también se hallan en los polvos insecticidas, así como en algunos productos liberados a partir de la fabricación de alimentos y la industria química. Las partículas que se forman en la atmósfera a partir de constituyentes inorgánicos son con frecuencia sales inorgánicas de amoníaco, sulfatos o nitratos.

Las concentraciones de partículas se expresa en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); las unidades de volumen (ppm, v) no son apropiadas pues las partículas, por definición, no son gaseosas. Las concentraciones en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se dan en seco, y por ello no incluyen gota de agua, nieve ni vapores de compuestos orgánicos o inorgánicos, que son eliminados en el proceso de secado. Esta magnitud, que en un aire absolutamente limpio es del orden de menos de 10 microgramos por  $\text{m}^3$ , alcanza valores de un centenar de microgramos por  $\text{m}^3$  en la mayor parte de las áreas urbanas y puede llegar a 2000 ó 3000 microgramos por  $\text{m}^3$  durante los episodios de contaminación particularmente graves.

La contaminación del aire por partículas requiere de atención especial por diversos motivos; entre los que destacan los siguientes:

- 1) Muchas partículas penetran en el sistema respiratorio con mayor efectividad que los contaminantes gaseos.
- 2) Algunas partículas se comportan sinérgicamente y aumentan los efectos tóxicos de otros contaminantes.
- 3) La contaminación por partículas aumenta la turbidez atmosférica y reduce la visibilidad.
- 4) En la atmósfera se forman partículas a partir de algunos contaminantes gaseosos.
- 5) Las partículas que ingresan por su tamaño al torrente circulatorio del ser humano provocan enfermedades crónicas.



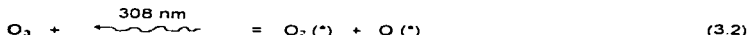
## 3.2.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Los contaminantes secundarios son aquellos originados por interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera. Dar una descripción detallada de todas las reacciones que esto implica, está fuera del alcance de esta sección o trabajo. Sin embargo, una descripción corta de las reacciones principales que controlan la formación de oxidantes fotoquímicos (ozono, nitrato de peroxiacetil; entre los más destacados) y especies ácidas relacionadas con el depósito seco da una idea del número de químicos implicados en este ciclo ambiental complejo y los problemas relacionados con su determinación.

El ozono es otra forma gaseosa del oxígeno (una forma alotrópica). Su nombre deriva del vocablo griego "olor", debido al olor picante que lo caracteriza. El ozono es un gas triatómico ( $O_3$ ), constituyente natural de la atmósfera, cuya concentración aumenta con la altitud.

La capa de la atmósfera que contiene mayor concentración de este gas es la estratosfera, también llamada ozonósfera, comprendida entre los 15 y 30 kilómetros de altura.

Esta sustancia es capaz de absorber las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, a través de un proceso similar al que se describe en las reacciones siguientes:



Una molécula de ozono absorbe energía proveniente de una radiación ultravioleta con longitud de onda del orden de los 308 nm. Esta energía es suficiente para romper la molécula de ozono, creando una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno, ambos en estado de excitación (lo cual se representa mediante un asterisco) y, por ende, más reactivos que en su estado fundamental de mínima energía.

Las reacciones que ocurren gracias a la acción de la radiación electromagnética en el espectro luminoso se llaman reacciones fotoquímicas y son de gran importancia para la vida sobre la Tierra. De hecho, a través de estas reacciones la capa de ozono absorbe, esto es, elimina de la radiación solar, aquellas radiaciones ultravioletas potencialmente peligrosas. De llegar a la Tierra, éstas reaccionan con las células causando daños irreversibles para la salud humana.

El efecto de pantalla protectora que ejerce el ozono, bloquea toda la radiación con longitud de onda inferior a los 300 nm. Sin embargo, la radiación restante es capaz de disociar el bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), es decir, dividirlo en óxido nítrico y oxígeno:



Los átomos de oxígeno así obtenidos, por más que se encuentren en el estado de mínima energía, desafortunadamente están en buenas condiciones para combinarse, especialmente en presencia de hidrocarburos, con lo cual contribuyen a la formación de un tipo particular de infición a la que se ha dado el nombre de esmog fotoquímico.

Las observaciones que se han hecho nos ofrecen igualmente una explicación de las razones por las cuales la temperatura de estratosfera se incrementa con la altura. De hecho, la radiación ultravioleta puede provocar el rompimiento de una molécula de oxígeno en sus átomos constituyentes:



Estos átomos reaccionan con moléculas de oxígeno o de ozono ( $\text{O}_3$ ):

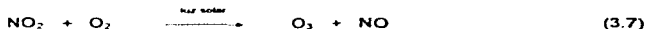


Puesto que una molécula de oxígeno y un átomo del mismo elemento poseen, por separado, más energía que una molécula de ozono, la energía excedente se libera en forma de calor, que hace que aumente la temperatura de las inmediaciones. Lo mismo ocurre en la reacción (3.6) entre el oxígeno y el ozono.

A pesar de su efecto protector, la presencia de ozono en la troposfera, la capa atmosférica más superficial y en la que se encuentra el aire que respiramos, es causa de graves daños al ambiente y a la salud.

En la ciudad de México como en otras grandes urbes, el ozono que produce efectos tóxicos al reaccionar con hidrocarburos oxigenados es generado por el hombre de la siguiente manera:

El ozono se forma mediante una reacción fotoquímica. Los compuestos originales o precursores, que son los óxidos de nitrógeno, especialmente el bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) generado por los motores, se une con el oxígeno del aire ( $\text{O}_2$ ) y en presencia de la luz ultravioleta se genera el  $\text{O}_3$ . Podemos representar el proceso con la siguiente fórmula:



A esto habrá que agregar que, como se hizo mención, el ozono es un gas cuya concentración aumenta con la altitud, por lo que en la ciudad de México, a 2400 metros sobre el nivel del mar, se favorece su formación.

Aunque la presencia de luz es necesaria para iniciar el ciclo fotoquímico, su ausencia no interrumpe la reactividad de las especies atmosféricas. Muchas de las reacciones que ocurren durante el día cesan en la noche, pero nuevas reacciones ocurren.

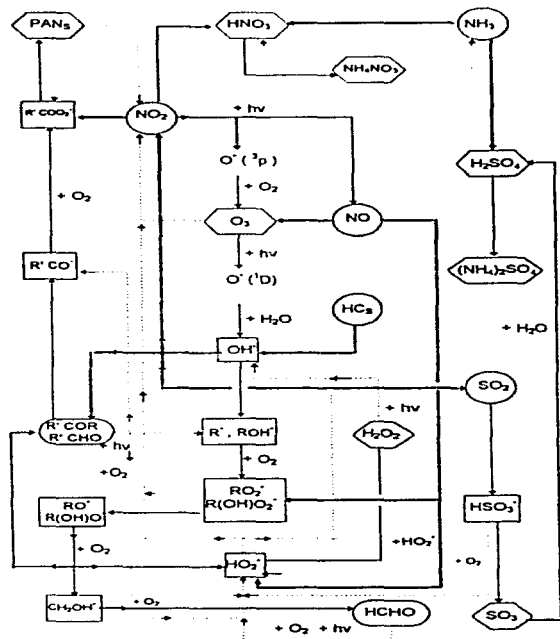
Algunas reacciones en la noche actúan como un sumidero para oxidantes fotoquímicos y especies ácidas, otras dan origen a compuestos que pueden reiniciar el ciclo fotoquímico al salir el sol. En este caso, los productos se comportan en la noche como un almacén temporal por especies reactivas.

Debido a las diferencias substanciales existentes entre los ciclos de día y de noche es útil representarlos con figuras separadas. La Figura (3.1) es un diagrama esquemático de las reacciones principales de día. No es muy detallado pero da una visión de como trabaja el ciclo. Una descripción detallada de los mecanismos y velocidades de diversas reacciones con referencias adecuadas puede ser hallada en el excelente libro de Finlayson - Pitts y Pitts (1985) y en un artículo reciente revisado por Carlier y Mouvier (1988).

Símbolos diferentes son usados para distinguir especies derivadas de emisiones antropogénicas o naturales (círculos) de esas formadas durante las reacciones fotoquímicas (cuadros y polígonos). Cuadros con lados redondeados indican compuestos que pueden ser emitidos y formados en el mismo tiempo.

Otra distinción es hecha entre radicales y compuestos de vida-corta de especies que hasta cierto punto, se comportan como cadenas finalizadoras y sufren acumulación en la atmósfera. Las líneas marcadas con flechas indican reacciones entre compuestos encerrados en las cajas. Las líneas que salen de las cajas llevan a productos de reacción. Una línea punteada es usada para productos que son sacados atrás en el ciclo. Los reactivos que son parte de la atmósfera natural ( $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , y luz) están indicados sobre las líneas. Tampoco se hace la distinción entre reacciones homogéneas y heterogéneas.

Figura 3.1 Diagrama esquemático de las reacciones principales de día para contaminación y esmog fotoquímico y deposición ácida.



FUENTE: Gaseous Pollutants. Characterization and Cycling  
Jerome O. Nriagu  
JOHN WILEY & SONS. Página: 472.

El mecanismo básico del ciclo de día puede ser resumido como sigue:

Cuando los hidrocarburos ( $\text{HC}_x$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ; es decir,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) son inyectados en la atmósfera e irradiados por la luz del sol, el estado fotoestacionario enlazando  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  es cambiado de algún modo. Radicales  $\text{OH}$ , derivados de la fotólisis del ozono seguida por la reacción del átomo de oxígeno excitado con el agua atmosférica, reacciona con orgánicos dando un incremento de especies radicales adicionales que continuamente consumen  $\text{NO}$  para formar  $\text{NO}_2$ . Algunos de los productos de estas reacciones no sacan radicales  $\text{OH}$  atrás en el ciclo de manera que ellos pueden reaccionar con otro  $\text{NO}$ . El motor real de todo el ciclo es así los radicales  $\text{OH}$ . Ellos son restituidos continuamente por radicales  $\text{HO}_2$  formados por los productos de oxidación orgánicos. Los resultados de estos procesos son los siguientes:

1. Acumulación de ozono

2. La oxidación de hidrocarburos ( $\text{HC}_x$ ) a aldenidos y acetonas seguida por su conversión parcial a nitratos de peroxiacilo ( $\text{PAN}_x$ ). Por que estos últimos compuestos actúan como cadenas finalizadoras, ellos pueden acumularse en la atmósfera: la oxidación de orgánicos también conducen a la formación de partículas carbonosas a través de polimerización compleja y procesos de nucleación. Los nitratos de peroxiacilo tienen la fórmula general  $\text{R-CO}_2\text{NO}_2$ , siendo  $\text{R}$  un grupo hidrocarbonado.
3. La oxidación de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  por radicales  $\text{OH}$  conducen finalmente a ácido sulfúrico y a ácido nítrico, respectivamente. Especies ácidas son inyectadas de esta manera en la atmósfera como gases (ácido nítrico) y partículas (ácido sulfúrico) como una consecuencia de reacciones fotoquímicas.
4. La neutralización parcial de ácidos inorgánicos debido a la emisión de amoníaco desde el suelo o actividades hechas por la mano del hombre producen partículas finas de sales de nitratos de amonio y sulfato de amonio. La producción de partículas (ácido sulfúrico, sales de sulfato de amonio y nitrato de amonio, partículas de carbón) es responsable principalmente de la reducción de visibilidad observada durante episodios de smog fotoquímico.
5. El peróxido de hidrógeno es formado hasta cierto punto y es importante en la promoción de la oxidación de  $\text{SO}_2$  y varios óxidos de nitrógeno en gotitas.
6. El equilibrio dinámico entre emisión, reacción, procesos de depósito, y transporte, determina las concentraciones aerométricas y su variación durante el día.

Es digno de atencin que las reacciones que conducen a nitrato de amonio y PAN<sub>5</sub> son reacciones en equilibrio cuyas constantes dependen sumamente de la temperatura de la atmósfera. Si el paquete de aire se calienta, las partículas de nitrato de amonio liberan ácido nítrico y amoníaco en la atmósfera. En condiciones similares, los PAN<sub>5</sub> liberan NO<sub>2</sub> y radicales peroxiacilo y de esta manera actúan como un portador para NO<sub>2</sub> en sitios remotos donde los niveles de NO<sub>x</sub> son bajos.

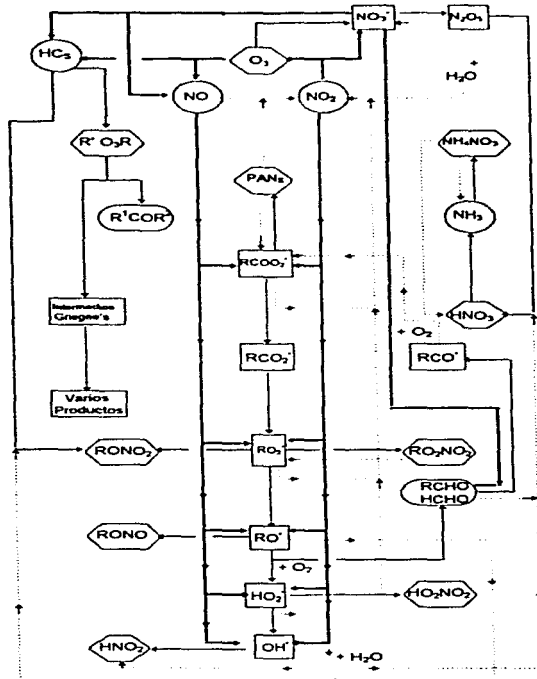
No es fácil predecir perfiles diarios de oxidantes fotoquímicos y especies ácidas en el aire. Tendencias diferentes pueden ser observadas, dependiendo del tipo de lugar (urbano, suburbano, rural, bosque, remoto) así como la geografía y meteorología.

Los máximos niveles de oxidantes y compuestos ácidos alcanzados en el aire es una función de la velocidad entre HC<sub>s</sub> y NO<sub>x</sub>. Sin embargo, la calidad de emisión orgánica tiene una gran influencia en la formación de contaminantes secundarios. Por ejemplo, algunos compuestos orgánicos (como muchos alquenos) tienen un potencial mayor para la producción de ozono y PAN<sub>s</sub> que otros hidrocarburos que salen de atrás más radicales OH en el ciclo a través de la formación de formaldehído.

Un panorama esquemático de las reacciones posibles en la noche está mostrado en la Figura (3.2). Los caminos no están así bien establecidos como esos para las reacciones de día, porque algunos de los productos observados en los experimentos de laboratorio aun no han sido detectados en la atmósfera. Se cree que el ozono es consumido principalmente por reacción con NO para dar NO<sub>2</sub>. Es posible también que el ozono reaccione con alquenos para dar un incremento a intermedios Gregee's y compuestos carbonilo (Atkinson y Carter, 1984). Debido a la reactividad diferente de tales intermedios hacia contaminantes primarios y secundarios, es difícil pronosticar los productos finales. Ha sido sugerido que ellos pueden contribuir a la formación de ácidos orgánicos en el aire. Porque la adición de ozono al enlace doble es más bien lento, tales reacciones pueden ser observadas solamente bajo condiciones favorables. Ellas pueden ocurrir también hasta cierto punto durante el día.

Reacciones similares ocurren con los radicales OH y HO<sub>2</sub>. Mientras los nitratos de alquilo pueden ser estables totalmente durante el día y algunos de ellos adsorbidos en partículas, nitratos de alquilo, ácido nitroso, y ácido peroxinitrico son fotolizados muy rápidamente y por lo tanto pueden ser considerados una fuente adicional para NO<sub>x</sub> y radicales cuando el sol sale. En esta forma ellos entran en el ciclo descrito en la Figura (3.1). Sin embargo, la producción de alquilnitritos, alquilnitratos, ácido nitroso, ácido nítrico, y ácido peroxinitrico a través de la cadena de reacciones mencionada arriba es, en muchos ejemplos, completamente pequeña, ya que depende de los procesos de descomposición de PAN<sub>5</sub> y la disponibilidad de NO.

Figura 3.2 Diagrama esquemático de las reacciones relevantes de noche para contaminación de smog fotoquímico y deposición ácida seca.



FUENTE: Gaseous Pollutants, Characterization and Cycling, Jerome O. Nriagu, JOHN WILEY &amp; SONS, Página: 472.

Las rutas más importantes para la producción de alquilnitratos (especialmente alquildinitratos), ácido nitroso, y ácido nítrico aparecen para ser relacionadas a las reacciones de  $\text{NO}_2$  para formar radicales  $\text{NO}_3$ , los cuales, cada uno a su vez, pueden reaccionar ambos con compuestos orgánicos o con  $\text{NO}_2$  nuevamente. El proceso anterior lleva a alquilnitratos (Japar y Niki, 1975, Atkinson et al., 1985), mientras que la segunda puede producir  $\text{N}_2\text{O}_5$ , el cual cada uno a su vez, da ácido nítrico por reacción con agua (Tuazon et al., 1983). También el agua reacciona con  $\text{NO}_2$  para producir ácido nitroso y ácido nítrico (Heikes y Thompson, 1983, Pitts et al., 1984).

Según muchos autores (Wayne et al., 1991), los radicales  $\text{NO}_3$  juegan un papel durante la noche similar a los radicales OH durante el día. Tomando en cuenta ambos procesos químico y físico, el resultado final conduce a una disminución de  $\text{O}_3$ , PAN,  $\text{HNO}_3$ , y NO combinado con un incremento de  $\text{NO}_3$ , NO, alquil nitratos, y  $\text{NO}_2$ . La transición de un ciclo de día a uno de noche está reflejada en la tendencia diurna seguida por las diversas especies durante los eventos de esmog fotoquímico.

Otra forma de clasificar los contaminantes del aire aparece en la Tabla (3.4).

TABLA 3.4 CLASIFICACIONES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE <sup>5</sup>	
TIPOS DE CLASIFICACION	CONTAMINANTES
POR SUS CARACTERISTICAS	1. Físicos (ruido, radiación, partículas, etc.) 2. Químicos ( $\text{SO}_2$ , $\text{O}_3$ , $\text{NO}_x$ , hidrocarburos, etc.) 3. Biológicos (virus, plagas, bacterias, etc.)
POR SU FUENTE DE EMISION	4. Naturales 5. Antropogénicas
POR SU QUIMICA AMBIENTAL	6. Primarios 7. Secundarios ( $\text{O}_3$ , PAN, etc.)
POR SU ESTADO FISICO	8. Sólidos (partículas) 9. Gaseosos ( $\text{SO}_2$ , $\text{O}_3$ , etc.) 10. Energía (ruido, vibraciones, iluminación, radiación, etc.)

<sup>5</sup> Referencias: 2, 10 y 14.

### 3.3 FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

A fin de controlar la contaminación del aire es necesario saber qué son las fuentes de contaminación y cómo operan. Es posible, al menos en teoría, controlar la contaminación del aire mediante la eliminación de las fuentes. Sin embargo, esto tendría un efecto sumamente destructor en nuestra sociedad y el modo en que vivimos; por ejemplo, no se tendría posibilidad de utilizar demasiada electricidad, conducir automóviles ni usar algo que contuviera metales o plásticos. De hecho, sería casi imposible la vida en un ambiente urbano contemporáneo. La relación costo-beneficio es palanca que mueve al mundo económico.



Por consiguiente, tenemos que controlar la contaminación del aire producida por nuestras actividades, lo cual requiere un conocimiento de los procesos que sostienen nuestro estilo de vida.

Algunas fuentes de contaminación del aire son grandes y se encuentran concentradas, en fábricas grandes, plantas químicas, refinerías de petróleo, industrias de recuperación y fundición de metales y estaciones de energía eléctrica; sin embargo, éstas contribuyen sólo en una tercera parte de la masa total de la carga de contaminación del aire (calculada con respecto a todos los contaminantes diferentes de  $\text{CO}_2$ ). El transporte en los países desarrollados contribuye como fuente contaminante en cerca del 45% , además, la calefacción del medio, en particular durante invierno en los países fríos de Europa y en el norte de Estados Unidos y Canadá, también efectúa una contribución significativa. La incineración de desperdicios adiciona otro 5% a la carga contaminante total. Dentro de la ciudades, la multiplicidad de pequeñas fuentes, en particular los automóviles privados, son la causa principal de la degradación de la calidad del aire. También participa la combustión del gas LPG en todas las cocinas de los hogares de las urbes.

Los grupos más importantes de fuentes contaminantes industriales son los de refinación del petróleo, los de extracción de metales, y los de elaboración de productos químicos. Estas y algunas otras fuentes industriales de contaminación del aire se consideran por separado en cuanto a los sencillos sistemas de combustión que se utilizan en la producción de vapor para la industria y para la generación de energía eléctrica, y respecto a los motores de combustión interna que se usan para el transporte.

Procesos naturales, como por ejemplo incendios forestales, descomposición de la vegetación, tormentas de polvo y erupciones volcánicas siempre han contaminado el aire. A pesar de que la producción mundial total de muchos de los gases y materias particuladas, reconocidos como contaminantes es mucho mayor cuando procede de fuentes naturales que cuando procede de fuentes producidas por el hombre, la distribución y dispersión globales de dichos contaminantes resultan en concentraciones promedio de un bajo valor. Mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, la atmósfera se puede limpiar por sí sola si se le da el tiempo suficiente. Ver Tabla (3.5)

Tabla 3.5 . Fuentes de contaminación<sup>a</sup>

GAS	FUENTE		CANTIDAD (por 10 <sup>6</sup> toneladas por año)	
	Principales fuentes contaminantes naturales (fuentes antropogénicas)	Fuentes	Contaminación Antropogénica	Natural
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Combustión de carbón y petróleo, cocido de minerales sulfurados.	Volcanes	146	6 - 12
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	Procesos químicos, acción tratamiento de aguas negras	Volcanes, biológica en pantanos	100	3 - 30
Monóxido de carbono (CO)	Combustión, principalmente escapes de automóviles	Reacciones de terpenos en dios forestales	300	> 3000
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Combustión bacteriana	Acción en suelos	270	50* - 60 -
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Tratamiento de desechos	Descomposición biológica	200	4 - 100-
Oxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	En forma indirecta por el biológica el uso de fertilizantes suelos nitrogenados	Acción en	450	> 17 - 100-
Hydrocarburos	Combustión, escapes, biológicos procesos químicos	Procesos	88 1600, terpenos	CH <sub>4</sub> . 300- 200
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Combustión	Descomposición biológica, liberación desde océanos	1.5 × 10 <sup>4</sup>	15 × 10 <sup>4</sup>

<sup>a</sup> Fuente: Contaminación del aire. W. Strauss y S.J. Maiwaring. Trillas. Página 11.

\* Expresado como toneladas de NO<sub>2</sub>.

En la tabla anterior se puede observar que la naturaleza produce más de diez veces ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), al menos una cantidad equivalente de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>, escritos como NO<sub>x</sub>) y más de cien veces amoniaco (NH<sub>3</sub>) en comparación con los que produce el hombre. Sin embargo, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) parece ser una excepción a la regla. El ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) se convierte finalmente en dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera es, por consiguiente, un precursor de SO<sub>2</sub>.

Otra forma representativa de clasificar las fuentes es presentada en la Tabla (3.6).

TABLA 3.6 CLASIFICACIONES DE LAS FUENTES QUE GENERAN EMISIONES DE CONTAMINANTES AL AIRE <sup>a</sup>	
TIPO DE CLASIFICACION	FUENTES
POR SU ORIGEN	NATURALES (VOLCANES, PANTANOS, ETC.) ANTROPOGENICAS
POR SU DESPLAZAMIENTO	FUENTES MOVILES (AUTOMOVILES, AVIONES, BARCOS, FERROCARRILES, ETC.) FUENTES FIJAS (INDUSTRIA)
POR SU VOLUMEN DE EMISION	FUENTES PUNTUALES (INDUSTRIA, HOGAR, VOLCANES) FUENTES DE AREA (AUTOMOVILES, CALENTADORES, DOMESTICOS, ETC.)

<sup>a</sup> Fuentes: 2, LGEEPA y 19.

Los contaminantes producidos por el hombre se concentran por lo general en regiones geográficas de poca extensión; por tanto, la mayor parte de la contaminación del aire la provoca el hombre. Esto se explica porque la industria del mundo se encuentra en el hemisferio norte (más del 90%), y la gran mayoría de ésta se localiza entre las latitudes de 30°N y 60°N. En esta región, la emisión antropogénica es considerablemente más importante que la emisión natural, y los efectos potenciales son más serios debido a la concentración del receptor de más vital interés para nosotros: el hombre mismo.

Para revisar en forma práctica la clasificación de los contaminantes antropogénicos, procedemos desde la perspectiva del medio en que se encuentran contaminando: aire, agua o suelo. La (Tabla 3.7) abarca los principales contaminantes de estos tres ambientes.

Tabla 3.7 TIPOS DECONTAMINANTES EN EL AMBIENTE<sup>5</sup>

Agente contaminante	Fuente	Distribución en el entorno
Óxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Combustión de combustibles carbonosos para la producción de energía	Aire, agua
Monóxido de carbono (CO)	Combustión incompleta de materias carbonosas (automotores, procesos industriales)	Aire
Anhidrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	Producción energética y térmica derivada de combustibles que contienen azufre	Aire, agua
Partículas aerotransportadas	Quemado de combustibles para la producción de calor y energía, proceso de elaboración industrial, incineración de desechos sólidos, incendios agrícolas y forestales	Aire
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Oxidación de nitrógeno atmosférico a temperatura elevada (motores de combustión interna, hornos e incendios)	Aire
Oxidantes incluido el ozono (O <sub>3</sub> )	Escapes de vehículos automotores. Reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno	Aire
Fluoruros	Procesos de elaboración industrial (producción de aluminio, acero, abonos fosfatados, fabricación de ladrillo)	Aire, agua, suelo
Contaminantes que afectan el olor del aire	Procesos de elaboración industrial. Eliminación inadecuada de desechos líquidos y sólidos	Aire
Mercurio(Hg)	Industrias donde se utilizan catalizadores mercuriales Procesos de minería y refinación Laboratorios médicos y de investigación	Aire, agua, suelo
Plomo (Pb)	Ingredientes antidetonantes en los combustibles para motores Fundición de plomo, industria química, plaguicida, pinturas, barnices y esmaltes	Aire, agua, suelo
Cadmio (Cd)	Minería y metalurgia Industria química (acumuladores alcalinos, pinturas y materiales plásticos)	Aire, agua, suelo
Fosfatos	Aguas residuales Avenamiento agrícola Detergentes	Agua

Tabla 3.7 TIPOS DE CONTAMINANTES EN EL AMBIENTE (Continuación)

Agente contaminante	Fuente	Distribución en el entorno
Nitratos y nitritos	Aguas residuales Quemado de combustibles fósiles Abonos nitrogenados	Agua, suelo
Sulfonatos alquílicos (AS)	Detergentes en aguas residuales y desechos industriales	Agua
Plaguicidas a base de compuestos orgánicos de cloro	Aplicación en la agricultura y sanidad. Desechos industriales (fabricación de plaguicidas, manufactura de lana y alfombras)	Suelo, agua, aire
Asbesto	Operaciones mineras, industria del asbesto y del cemento, tuberías para el agua forradas de asbesto	Aire, agua
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	Escape de motores de gasolina y diesel, desechos de fábricas de gas, refinarias, industrias químicas	Aire, agua
Petróleo	Extracción de petróleo, refinación, accidentes (derrames) en la industria petrolera	Agua, suelo
Materia orgánica degradable	Aguas residuales, basuras, desechos industriales y agrícolas	Agua, suelo
Desechos sólidos	Actividades domésticas, municipales, comerciales, industriales y agrícolas	Suelo, agua
Organismos patógenos	Excreciones humanas y animales (aguas residuales)	Agua, suelo, aire
Radiaciones ionizantes	Usos terapéuticos, producción y ensayo de armas nucleares, producción de energía nuclear, industria e investigación	Aire, agua, suelo
Calor	Centrales energéticas a base de combustibles fósiles o nucleares Grandes zonas urbanas	Aire, Agua
Ruido	Medios de transporte (aeronaves y vehículos), industria, construcción, barcos	Agua, aire

<sup>a</sup> Fuente: Contaminación Ambiental  
Pedro César Cantú Martínez.  
Editorial Diana. Pp. 26-29.

### 3.4 PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AIRE

La contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas; primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas. Para prevenir, restablecer y mantener la calidad del aire se realizan acciones para reducir la emisión de contaminantes.

Los valores establecidos como criterio de la calidad del aire, establecen los límites sobre las concentraciones de diversos contaminantes, con base a la protección de la salud de la población; iniciando con la más susceptible. Los parámetros establecidos para la calidad del aire sirven como referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos.

Los valores máximos permisibles para la concentración del contaminante en el aire, está determinado por su toxicidad así como por el tiempo de exposición, de tal manera tenemos que la concentración de los contaminantes en el ambiente laboral es mayor a la permitida a la del aire ambiental; porque los tiempos de exposición son diferentes. Ver (Tabla 3.8).

TABLA 3.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES<sup>1</sup>

Contaminante	Concentración máxima permisible en el ambiente laboral (CPT 8 hr) <sup>2</sup>	Concentración máxima permisible en el aire ambiental			Toxicología	Observaciones
		Límite máximo permisible promedio	Tiempo de medición para obtener el promedio	Criterio		
CO	50 ppm	11 ppm <sup>3</sup>	8 horas	No debe rebasar este valor más de una vez al año	Forma carboxihemoglobina que causa envenenamiento de la sangre	Es un contaminante típico producido por los medios de transporte
NO <sub>2</sub>	3 ppm	0.21 ppm <sup>3</sup>	1 hora	No rebasar este valor más de una vez al año	Causa irritaciones en las vías respiratorias	Se produce en todas las combustiones a alta temperatura
SO <sub>2</sub>	2 ppm	0.13 ppm <sup>3</sup>	24 horas	No rebasar este valor más de una vez al año	Aumenta la resistencia al flujo pulmonar	Se produce en las combustiones de las sustancias que contienen azufre
		0.03 ppm	365 mediciones de 24 horas	No rebasar este valor en una media aritmética		
hidrocarburos	—	—	—	—	Algunos hidrocarburos poliméricos son cancerígenos	En presencia de NO <sub>x</sub> y otros gases estos son fotoquímicos
Partículas totales suspendidas (PST)	10 mg/m <sup>3</sup>	0.260 <sup>4</sup> mg/m <sup>3</sup>	24 horas	No rebasar este valor más de una vez al año	Bloquea los mecanismos de defensa del aparato respiratorio	Como PST se considera la contaminación del aire provocada por material sólido y líquido
		0.075 mg/m <sup>3</sup>	365 mediciones de 24 horas	No rebasar este valor en una media geométrica		
Partículas menores a 10 micras	5 mg/m <sup>3</sup>	0.150 <sup>4</sup> mg/m <sup>3</sup>	24 horas	No rebasar este valor más de una vez al año	Son transportadas hasta el espacio alveolar del pulmón	Las partículas también se pueden formar a partir de gases
		0.010 mg/m <sup>3</sup>	365 mediciones de 24 horas	No rebasar este valor en una media geométrica		
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.10 ppm	0.11 <sup>5</sup> mg/m <sup>3</sup>	1 hora	No rebasar este valor más de una vez al año. Si tampoco debe rebasarse más de una vez en un periodo de tres años consecutivos	Altera las membranas celulares, principalmente la ocular y la respiratoria	Se forma a partir del oxígeno en presencia de NO <sub>x</sub> , hidrocarburos volátiles y de radiación ultravioleta
Plomo (Pb)	0.15 mg/m <sup>3</sup>	0.0015 <sup>6</sup> mg/m <sup>3</sup>	3 meses	—	Da lugar a intoxicación aguda. Se acumula de manera crónica en dientes, huesos y sistema hematopoyético	—

<sup>1</sup> Fuente: <sup>2</sup> NOM-022-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>3</sup> NOM-021-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>4</sup> NOM-022-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>5</sup> NOM-023-SSA1-1993 Salud Ambiente

<sup>6</sup> NOM-024-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>7</sup> NOM-025-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>8</sup> NOM-026-SSA1-1993 Salud Ambiente;  
<sup>9</sup> CPT Concentración Promedio en el tiempo NOM-010-STPS-1994

### **3.5 CASOS GRAVES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

Aunque ya en 1272 se observó una limitada contaminación, es sólo en años relativamente recientes que ha llegado a ser un problema serio, considerando la historia total de la humanidad. En diciembre de 1930, una región altamente industrializada del valle del Meuse, en Bélgica, se cubrió durante 3 días de una espesa niebla, por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron —más de 10 veces el número normal. Poco después, una espesa niebla cubrió el área de Manchester y Salford en Inglaterra durante 9 días, en enero de 1931, murieron 592 personas —lo que nuevamente representaba un considerable incremento en la tasa de mortalidad. En 1948, en Donora, Pennsylvania, un pequeño pueblo en donde había plantas químicas y acerías se cubrió por una niebla durante 4 días, y enfermó casi la mitad de sus 14 000 habitantes. Murieron 20 personas. Diez años después, los residentes de Donora que habían estado gravemente enfermos durante aquel episodio mostraron una tasa más alta de enfermedad y morían antes que el promedio de todos los habitantes. En 1873, una niebla cubrió Londres y causó 268 muertes por bronquitis. No fue hasta que una gran capa de niebla cubrió Londres en 1952 cuando se hizo totalmente evidente el siniestro potencial de la contaminación del aire. La niebla duró desde el 5 de diciembre hasta el 8 del mismo mes, y 10 días después se supo que el número total de muertes en la región principal de Londres sobrepasaba en 4 000 al promedio. Las estadísticas indicaron que casi todos los que habían muerto inesperadamente tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardíacos, y que las personas clasificadas en la última categoría, eran las más vulnerables. Nuevamente en enero de 1956, se produjeron 1 000 muertes más debido a una extensa niebla. Ese año, el Parlamento promulgó una Ley de Aire Puro y Gran Bretaña inició un programa para reducir la combustión de carbón bituminoso. Las condiciones del neblumo en Los Angeles, Nueva York, Chicago y otras grandes ciudades de Estados Unidos, se comentan con frecuencia en los periódicos.

El uso indebido de los recursos del aire en Rusia no difiere mucho de los Estados Unidos. A pesar de que la producción anual actual de automóviles en Rusia es la décima parte de la de los Estados Unidos, la mayoría de las ciudades de Rusia experimentan grados variables de contaminación ambiental. Las ciudades situadas en valles o en regiones montañosas son especialmente propensas a experimentar peligrosos niveles de contaminación ambiental. Por ejemplo en ciudades de Armenia, construidas sobre terrenos accidentados, las normas establecidas de salubridad para el monóxido de carbono a menudo se infringen. De igual manera, Magnitogorsk, Alma Alto y Chelyabinsk, con sus industrias metalúrgicas, están frecuentemente cubiertas de una neblina azul oscuro. Como Los Angeles, Tbilisi, la capital de la República de Georgia, tiene neblumo casi 6 meses al año. Leningrado tiene 40 por ciento menos horas diurnas de claridad que el cercano pueblo de Pavlovsk.

Como conclusión a este capítulo, es necesario indicar que la existencia de la contaminación atmosférica en una determinada zona está condicionada a la presencia de tres elementos primarios:



1. Fuentes de emisión de contaminantes, tales como chimeneas, tubos de escape, etc.
2. Condiciones meteorológicas que determinan la dispersión de dichos contaminantes en la baja atmósfera.
3. Receptores, animados e inanimados, sobre los cuales inciden y a quienes afectan los contaminantes dispersados.

Cualquiera de estos tres elementos que falte no permitirá la formación de una zona con contaminación atmosférica, de acuerdo a la definición acordada.

## 4 ESTUDIO AMBIENTAL

### 4.1 LA PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS

Todos los sectores de la sociedad, desde las actividades industriales y de servicios privados, públicos, generan actualmente residuos; los cuales varían según el tipo de actividades y formas de consumo de quienes los generan, por lo que, también pueden cambiar conforme evolucionan éstas.

Así, por ejemplo, en las áreas urbanas al transcurrir de los años, se ha visto un cambio en la composición de la basura, de manera que los residuos orgánicos (por ejemplo residuos de alimentos), se han ido reduciendo en proporción, con respecto a los de tipo inorgánico (por ejemplo envases de cartón, aluminio, vidrio o plástico; por lo tanto, una población creciente, combinada con un alto nivel de vida, ha llevado a una producción y concentración drásticamente intensificada de contaminantes en determinadas áreas

Los residuos constituyen una pérdida económica para quienes los generan; éste es el caso de las industrias o servicios en que los insumos en lugar de convertirse en productos se transforman en desperdicios, así como de los consumidores que dejan de recibir los beneficios de los productos al descartarlos.

También representa un gasto, si se considera el costo que implica para el generador o para la sociedad el deshacerse de ellos.

Los depósitos de basura ambientalmente inadecuados, además de ser peligrosos, deterioran el paisaje y desvalorizan las propiedades de las comunidades vecinas, trayendo consigo un impacto económico y social; estas disposiciones inadecuadas de los residuos se pueden realizar en:

- Lotes baldíos
- Barrancas
- Cuencas de ríos y arroyos
- Alcantarillado
- Drenajes
- Basureros municipales
- En terrenos industriales
- En terrenos de propiedad privada
- En terrenos de propiedad de paraestatales

La inadecuada disposición de los residuos peligrosos puede traer las siguientes consecuencias:

- Lixiviación de residuos peligrosos al manto freático
- Contaminación del agua superficial (lagos, ríos, lagunas)
- Contaminación del suelo
- Contaminación de los mantos freáticos
- Contaminación de los alimentos
- Contaminación del aire
- Contaminación del mar
- Afectación de las cadenas tróficas
- Afectación de la fauna
- Afectación de la flora
- Afectación a la salud pública
- Afectación a los ecosistemas, zonas naturales, bosques, zonas de cultivo, manglares, selvas, recursos naturales y calidad de vida.

Por tanto, por los peligros que conlleva el manejo de los residuos, como por sus implicaciones económicas y sociales, se han establecido disposiciones legales (leyes, reglamentos y normas) y procedimientos administrativos (manifiestos, permisos, licencias y registros), que definen las condiciones y restricciones que aplican a las diversas fases del ciclo de vida ( generación, recolección, almacenamiento, envasado y etiquetado, transporte, tratamiento y disposición final) de los residuos de acuerdo con que éstos sean: residuos peligrosos, residuos municipales, residuos biológicos-infecciosos, residuos industriales, residuos radiactivos.

Desgraciadamente no existe la infraestructura, ni la concientización para instrumentar y mejorar los sistemas de una recolección y separación selectiva de los residuos que pueden ser susceptibles de recuperarse o reciclarse, con el objeto de realizar la disposición final de la menor cantidad de residuos; si tomamos en consideración que la producción de residuos a nivel mundial esta creciendo desmesuradamente y su recolección, manipulación y eliminación se ha convertido en un grave problema para nuestra sociedad.

En México los requisitos indispensables para la solución a la problemática de los residuos peligrosos sería implementar los siguientes planes:

- Educación sobre los riesgos de la contaminación en todos los niveles escolares
- Democratización nacional
- Participación social
- Participación del sector industrial
- Participación del sector comercial
- Participación de universidades y centros de investigación
- Participación de grupos ecologistas
- Participación del gobierno federal
- Participación del gobierno estatal
- Participación del gobierno municipal
- Participación de las ONG'S
- Participación del sector educativo
- Utilización de los medios masivos de comunicación
- Utilización de letreros, avisos y propaganda
- Financiamiento adecuado, oportuno y de manejo transparente.

Como se puede observar en los requisitos mínimos e indispensables para la solución a la problemática de los residuos peligrosos; es con una participación más activa de toda la sociedad, siendo la parte rectora las instituciones gubernamentales, en donde se presentan una serie de problemas que podríamos resumir en lo siguiente:

- Programas que son, en la mayoría de los casos, fracasos
- Programas que se cumplen parcialmente
- Deficiencias en la legislación ambiental
- Falta de sensibilidad para los problemas nacionales
- Centralismo
- Ineficiencia
- Deficiente vigilancia
- Corrupción
- Poco personal capacitado
- Limitada capacitación técnica para el personal
- Nula dignificación de los servidores público
- Bajos salarios al personal técnico
- Falta de presupuesto adecuado
- Lentitud en la gestión ambiental
- Ausencia de mecanismos para evaluar resultados.

En cuanto a la participación de los sectores industriales y comerciales es mínima, lo cual puede ser consecuencia de varios factores, siendo un factor ponderante en esta poca participación de estos sectores, la conformación de un monopolio que impide el desarrollo de la infraestructura para un manejo adecuado de los residuos peligrosos; si consideramos que a nivel nacional referente a residuos peligrosos, existe como infraestructura para el manejo de dichos residuos lo siguiente

- 3 instalaciones que formulan combustibles alternos
- 7 instalaciones que usan combustibles alternos
- 2 confinamientos controlados

Aunque existen diversas posibilidades para prevenir o minimizar la generación de residuos, a nivel internacional la política establecida de acuerdo a su importancia prioritaria, es la reducción de su generación y peligrosidad en la fuente, en particular, mediante la adopción de procesos productivos más limpios. Por otro lado la segunda prioridad es su reuso, reciclado y recuperación y la última su tratamiento y disposición final, todo ello, de manera ambientalmente adecuada. En la Figura (4 1), se presentan las diferentes opciones para el manejo de los residuos, en donde el objetivo final es evitar la contaminación, del suelo, agua y aire al realizar la disposición final del residuo

## 4.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS

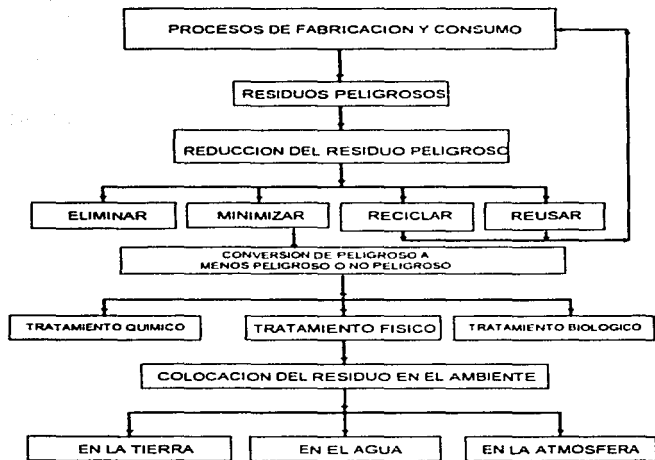
### 4.2.1 RESIDUOS PELIGROSOS

De acuerdo con la legislación ambiental vigente, son aquellos residuos en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas-infecciosas, representan un peligro para la salud o el ambiente.

### 4.2.2 RESIDUOS MUNICIPALES

Se consideran como residuos municipales, los que provienen de las actividades que se desarrollan en las casas-habitación, sitios de servicios privados y públicos, establecimientos comerciales, así como los generados en la industria, salvo los que provienen de sus procesos que puedan tener propiedades que los hagan peligrosos.

Figura 4.1 ADMINISTRACION DE LOS RESIDUOS\*



\* Fuente: Standard Handbook Of Hazardous Waste Treatment and Disposal  
Harry M. Freeman.

#### 4.2.3 RESIDUOS BIOLÓGICOS INFECCIOSOS

Es el residuo que contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos y al ambiente

#### 4.2.4 RESIDUOS INDUSTRIALES NO PELIGROSOS

Son los residuos generados en procesos industriales que no tienen las características corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas-infecciosas, y que tampoco son radiactivos ni cancerígenos. Algunos residuos que son inflamables como papel, cartón, madera, aserrín, etc. se consideran también residuos industriales no peligrosos.

#### 4.2.5 RESIDUOS RADIACTIVOS

Son los residuos que contienen materiales radiactivos, y su control lo determina la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia

### 4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS

El problema de la contaminación del agua no es técnicamente un problema difícil; pero como resultado de la gran variedad de procesos industriales, se han comenzado a producir aguas residuales de muy diverso tipo, lo que requiere tratamientos más complejos que han ido apareciendo sucesivamente. El tratamiento de aguas residuales actualmente lleva consigo tantos procesos de tratamientos y equipos, operaciones unitarias y de proceso, que de hecho, incluso las aguas residuales municipales actuales ya no son las aguas residuales o aguas negras de antes; porque la composición de las aguas residuales verdaderamente domésticas ha cambiado con la entrada en el mercado de una serie de productos nuevos, ahora accesibles al ama de casa, tales como detergentes sintéticos y otros. Así pues, tratar las aguas residuales domésticas como industriales hay que empezar a considerar nuevas tecnologías, procesos y en general nuevas líneas de tratamiento

La estrategia correcta para un programa de reducción de la contaminación industrial es aquella en la que se tienen en cuenta todas las oportunidades para tratamiento de las aguas residuales integradas en el proceso básico de la actividad industrial; esencialmente la reducción de la contaminación de las aguas residuales en origen lleva consigo tres fases distintas.

- Fase 1. Llevar a cabo una campaña de revisión de todos los efluentes de la planta. Esto significa hacer un inventario de todas las fuentes, así como finalmente para cada corriente de aguas residuales determinar los caudales y las cargas contaminantes.
- Fase 2. Revisión de los datos obtenidos en la fase 1 para establecer los objetivos de reducción de la contaminación posibles.
- Fase 3. Evaluación de los ahorros potenciales en inversión y costos de operación de una posible planta de tratamiento separada, si cada una de las corrientes consideradas en fase 1 y fase 2 se eliminan o se reducen (reducción en caudal como en cargas contaminantes).

#### 4.3.1 CARACTERIZACION DEL RESIDUO

El paso inicial para seleccionar el tratamiento que se le va a dar al residuo para su reciclaje o disposición final, es realizar una caracterización en términos de la fuente o proceso donde se genera, cantidad, propiedades físicas, composición química y efectos biológicos. Los parámetros básicos de la caracterización se presentan en la Tabla (4.1).



TABLA 4.1 PARAMETROS BASICOS EN LA CARACTERIZACION DE UN RESIDUO ACUOSO<sup>5</sup>

1. Información de la fuente y puntos individuales donde se originan  
Componentes del residuo.  
Proporción de descargas durante la producción (máxima y promedio).  
Tipo de operación donde se genera (continuo o batch)
2. Composición química  
Componentes orgánicos e inorgánicos.  
Carbonos Orgánicos Totales (TOC)  
Problemas específicos de iones (AS, Ba, CD, Cr, CN, Hg, Pb, Se, Ag, NO<sub>3</sub>).  
Problemas por contenidos de compuestos orgánicos, (Pesticidas, Bifenilos Policlorados, Fenoles, Bencenos).  
Total de sales disueltas  
PH, alcalinidad, acidez  
Nitrógeno y fósforo  
Contenido de grasas y aceites.  
Contenido de cloro
3. Efectos biológicos  
Demanda de oxígeno.  
Toxicidad (vida acuática, plantas, bacterias).  
Bacterias patógenas.
4. Propiedades físicas  
Temperatura  
Solubilidad  
Color.  
Olor.  
Inflamabilidad  
Corrosividad.  
Reactividad
5. Datos del flujo y descargas totales  
Flujo promedio diario  
Flujo máximo  
Duración promedio del flujo máximo.

<sup>5</sup> Fuente: Handbook of Industrial Waste Disposal Richard A Conway.

#### 4.3.2 FUENTES DE RESIDUOS ACUOSOS

Las fuentes fundamentales de los residuos acuosos son:

- 1) Aguas domésticas o urbanas
- 2) Aguas residuales industriales
- 3) Escorrentías de usos agrícolas
- 4) Aguas pluviales
- 5) Solventes contaminados

Normalmente las aguas residuales, tratadas o no, se descargan finalmente a un receptor de aguas superficiales (mar, río, lago, etc.), tal como se puede observar en la Figura (4.2).

La reutilización de agua o solventes o reciclado se ha mencionado al hablar de control de contaminación en origen. El establecimiento del porcentaje a reciclar para una aplicación específica lleva consigo el establecer un balance económico en el cual hay que tener en cuenta tres factores fundamentales:

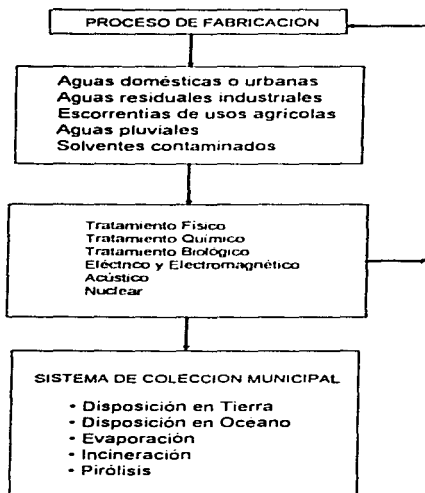
- 1) El costo del agua o solvente utilizado en la planta
- 2) El costo del tratamiento para alcanzar los requisitos de calidad establecidos
- 3) El costo para poder descargar en el medio receptor, por ejemplo alcantarillado

#### 4.3.3 METODOS DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ACUOSOS.

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. En la Tabla (4.2) se presenta una clasificación para el tratamiento de los residuos acuosos.

Las normas de calidad de las aguas están corrientemente basadas en uno o dos criterios: calidades de las aguas superficiales o normas de limitación de vertidos. Las normas de calidad de aguas superficiales incluyen el establecimiento de calidad de aguas de los receptores, aguas abajo del punto de descarga, mientras que las normas de limitación de vertidos establecen la calidad de las aguas residuales en su punto de vertido mismo. Una desventaja de las normas de limitación de vertidos es que no establece controles sobre el total de cargas contaminantes vertidas en los receptores. Una gran industria, por ejemplo, aunque lleve a cabo el mismo tratamiento que una pequeña, puede causar mucha mayor contaminación del receptor.

**Figura 4.2 Estrategia General en la Disposición de los Residuos Líquidos\***



\* Fuente: Handbook Of Industrial Waste Disposal  
Richard A. Conway  
Richard D. Ross

TABLA 4 2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS LIQUIDOS<sup>f</sup>

**1. Físico**

**Adsorción.**

Tamaño- Tamizado, filtrado, molienda.

Cambio de fase- destilación/evaporación, fusión, sublimación.

Intercambio iónico

Procesos de membrana- Ultrafiltración, osmosis inversa, diálisis, membranas líquidas.

Separación por campo de fuerza- Centrifugación, sedimentación por

gravedad, flotación por dispersión de aire

Métodos de superficie- Espuma, flotación

Extracción/absorción.

**2. Biológico**

Lodo activado.

Estabilización aerobica.

Método anaerobico.

Conversión de enzimas.

Balanceo de ecosistemas.

**3. Químico**

Tratamiento ácido-base, precipitación química, coagulación,

flaculación, polimerización.

Oxidación- Cloro, ozono, peróxido, permanganato, combustión, incineración,

oxidación catalítica.

Reacciones de reducción

Reacciones fotoquímicas

Hidratación

Descomposición térmica

**4. Electromagnética**

Irradiación ultravioleta.

Electrólisis.

Separación magnética

Electrodialisis.

**5. Acústica**

Ultrasonido.

**6. Nuclear**

Irradiación.

<sup>f</sup> Fuente: Handbook of Industrial Waste Disposal Richard A Conway.

#### 4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS GASEOSOS

En el pasado, la industria, la agricultura y los contaminadores individuales encontraron que era más económico descargar a la atmósfera los productos de desecho que controlarlos. Por lo general, la organización o actividad que causaba la contaminación no sufría las consecuencias de la misma; del mismo modo, los que se beneficiaban de la reducción en la contaminación del aire, por la instalación de equipos de control, no contribuían directamente al costo de dicho equipo.

En años recientes, el público se preocupa cada vez más por los problemas de contaminación ambiental, se ha llegado a considerar el aire como un elemento del dominio público, la contaminación del aire es un residuo de los métodos como se producen nuestras mercancías, las transportamos junto con nosotros y generamos la energía para calentar e iluminar los lugares donde vivimos, nos divertimos y trabajamos, por lo tanto, la contaminación del aire forma parte de la vida moderna; si además consideramos que cada persona, en promedio respira diariamente de 14 a 18 kg de aire mientras que sólo consume de 1.5 a 2 kilogramos de agua en una u otra forma y no más de 0.7 kilogramos de materia sólida seca como alimento. El hombre sólo sobrevive unos pocos minutos sin aire mientras logra mantenerse vivo durante días sin beber agua y durante semanas sin ingerir alimentos. Aunque se ha insistido durante mucho tiempo sobre la necesidad de agua potable y alimentos incontaminados, únicamente en estos últimos años se ha empezado seriamente a reconocer la importancia que para la salud tiene el aire limpio.

Muchos procesos producen descargas gaseosas que no pueden ir directamente a la atmósfera, porque pueden contener materia particulada excesiva, componentes ácidos o hidrocarburos, que por su química ambiental significan más del noventa por ciento de la contaminación atmosférica tal como se analizó en el Capítulo 3. También se ha observado que la industria privada, pública o de servicios genera una combinación de residuos, los cuales pueden ser sólidos líquidos o gaseosos, y cada tipo de residuo requiere un tratamiento y un equipo diferente. Por lo que la disposición de algún tipo de residuo puede crear un problema de contaminación como sucede con la incineración de los residuos sólidos, donde los gases de combustión acordes al tipo de residuo son potenciales causas de contaminación del aire, consecuentemente, para tratar estos tipos de residuos, es necesario utilizar equipo de control para separar el material particulado, gases ácidos e hidrocarburos, para evitar los problemas de contaminación del aire. Para la selección y diseño de los equipos de control para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios, se analizará con más detalle en el siguiente Capítulo de esta tesis.

#### 4.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

La problemática que presentan los residuos sólidos en su manejo se deriva principalmente a la diversidad con que se presentan, por lo cual es difícil establecer una clasificación, pero se pueden agrupar de diferentes maneras, como pueden ser, los residuos que son biodegradables y los que no, también pueden ser los generados por la propia actividad humana, sobre todo en las grandes ciudades a los cuales se les llama comúnmente "residuos urbanos, y los producidos por las actividades industriales, llamados "residuos industriales", pero una clasificación más específica y orientada al objetivo de esta tesis, es la establecida por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), en donde una de las principales consideraciones para establecer esta clasificación, es el poder calorífico del residuo así como el contenido de humedad y materia inerte tal como se puede observar en la siguiente clasificación:

##### 4.5.1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos Tipo "0" son una mezcla de desperdicios sumamente combustibles: papel, cartón, caja de madera, basura de la limpieza provenientes de actividades comerciales e industriales, contiene hasta un 10% en peso de bolsas de plástico, papel de envoltura, papel laminado, cartón corrugado, estopas con aceite o grasa, viruta de hule o plástico y textiles.

Los residuos Tipo "1", son una mezcla de desperdicios combustibles, como son: papel, cartón, trapo, viruta de madera, hojas y pastos, basura de limpieza provenientes de actividades domésticas, comerciales, industriales y de oficinas. Contienen hasta un 20% de basuras propias de restaurantes, cafeterías y hoteles, pero una mínima cantidad de papel tratado (de envoltura, laminado, etc.), plástico y hule. Tienen un contenido de humedad máximo del 25%, y una densidad equivalente o la de los residuos tipo "0" (cero). Poseen un contenido máximo de inertes del 8% en peso y un poder calorífico de 3,600 kilocalorías por kilogramo.

Los residuos Tipo "2", son una mezcla de desperdicios urbanos, consistentes en partes iguales en peso de desperdicios tipo "0" (cero) y "1", (50% de basura seca y 50% de basura húmeda, animal o vegetal). Estos residuos son comunes a casas habitación y edificios habitacionales tienen un contenido de humedad máximo del 50%, así como una densidad que va desde 240.28 hasta 320.37 kilogramos por metro cúbico. Tienen un contenido máximo de inertes del 7% en peso y un poder calorífico de 2,300 kilocalorías por kilogramo.

Los residuos Tipo "3", son desperdicios animal y vegetal, procedentes de restaurantes, cafeterías, hoteles, hospitales, mercados e instalaciones similares. Tienen un contenido de humedad máximo del 70% y una densidad que va desde 480.55 hasta 560.64 kilogramos por metro cúbico. Tienen un contenido máximo de inertes del 5% en peso y un poder calorífico de 1,250 kilocalorías por kilogramo.

Los residuos Tipo "4", se denominan "desperdicios Patológicos", y consiste de residuos humanos y de animales (cuerpos, órganos, desperdicios sólidos orgánicos y de curaciones); provenientes, de instituciones médicas, hospitales, granjas y rastros. Tienen un contenido de humedad máximo del 85% y su densidad va desde 720.85 hasta 881.01 kilogramos por metro cúbico, un contenido máximo de inertes del 5% y un poder calorífico de 600 kilocalorías por kilogramo.

Los residuos Tipo "5", son productos líquidos o semilíquidos, como alquitranes, lodos, pinturas, asfaltos, etc., provenientes de procesos industriales. El contenido de humedad, la densidad, el contenido de inertes y el poder calorífico de éstos residuos es variable y requiere de un estudio específico.

Los residuos Tipo "6", son productos sólidos, como hules, plásticos, sustancias químicas, etc., de desperdicios industriales. Al igual que los residuos tipo "5", el cálculo de sus características requieren de un estudio específico.

Así mismo, la Tabla (4.3), nos muestra un resumen de los tipos de residuos y sus características ya mencionadas.

En la ciudad de México, la rapidez de generación de los residuos sólidos Tipo "0", "1", y "3" según estudios del Departamento del Distrito Federal, oscila entre 0.5 y 1.0 kilogramos por día, por persona. En cambio la de los residuos Tipo "4" oscila entre 1.0 y 2.0 kilogramos por día, por persona, cuando se encuentra enferma, de estos, los residuos sólidos hospitalarios que son biológicos-infecciosos (los que representan peligro a la salud humana), se generan a razón de 0.3 a 1.0 kilogramos por cama por día.

TABLA 4.3 CLASIFICACION GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
RAPIDEZ DE GENERACION (EN MÉXICO D F SEGUN D D F-DGSU.1990)\*

- DOMICILIARIA 0 5-1 0KG/Dia-Persona
- HOSPITALARIA 1 0-2 0KG/Dia-Persona
- BIOLÓGICO-INFECCIOSA 0 3-1.0KG/Cama-Dia

TIPO	DESCRIPCION	CONTENIDO DE HUMEDAD	DENSIDAD KG/M <sup>3</sup>	CONTENIDO DE INERTES	PODER CALORIFICO KCAL/KG
0	Mezcla de desperdicios sumamente combustibles papel cartón cajas de madera basura de la limpieza provenientes de actividades comerciales e industriales contiene hasta un 10% en peso de bolsas de plástico papel de envoltura papel laminado cartón corrugado estopas con aceites o grasa virutas de hueso o plástico y lvanes.	10%	128 15 A 160 18	5%	4,700
1	Mezcla de desperdicios combustibles papel cartón, trapo virutas de madera hojas y pasto, basura de limpieza provenientes de actividades domésticas de oficina, comerciales e industriales, contiene hasta un 20% en peso de basuras de restaurantes cafeterias hoteles pero con nada de papel tratado (de envoltura laminado etc) plástico o hueso.	25%	128 15 A 160 18	8%	3 600
2	Mezcla de desperdicios urbanos consistente en partes iguales en peso de desperdicios tpicos y 1 00% basura seca y 20% basura animal y vegetal, común a casas habitacion y edificios habitacionales.	50%	240 26 A 300 37	7%	2,300
3	Desperdicios animal y vegetal provenientes de restaurantes, cafeterias hoteles, hospitales mercados e instalaciones similares.	70%	480 56 A 560 64	5%	1,250
4	Desperdicios biológicos consistentes en residuos humanos y animales (cuerpos órganos desperdicios sólidos rganicos) provenientes de instituciones médicas, hospitales, laboratorios, granjas, zoológicos.	85%	720 85 A 881 01	5%	600
5	Productos líquidos o semisólidos como alquitranes, lodos, pinturas, asfaltos provenientes de procesos industriales.			Variable	Se requiere de un estudio específico
6	Productos sólidos, huesos, plásticos, sustancias químicas, madera etc provenientes de desperdicios industriales.			Variable	Se requiere de un estudio específico

\* Fuente: William D. Robinson, P.E. The Solid Waste Handbook.

La Tabla (4.4), nos indica la clasificación de los residuos sólidos peligrosos, biológicos-infecciosos, asi como el número de clasificación del Instituto Nacional de Ecologia (INE), como residuos peligrosos.



TABLA 4.4 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICOS INFECCIOSOS\*

- La sangre (No INE RPN 1 2/01)
- Los productos derivados de la sangre
- Los materiales con sangre
- Los anteriores materiales, aún cuando se hayan secado, incluyendo el plasma, el suero y los derivados de la sangre, así como los recipientes que lo contienen o lo contuvieron
- Los cultivos y muestras almacenadas de agentes infecciosos
- La producción de biológicos (No INE RPN 1 2/02)
- Los patológicos (No INE RPN 1 2/03)
- Los tejidos, órganos, partes y fluidos corporales que se remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención
- Las muestras para análisis
- Los cadáveres de animales o partes de éstos
- Los no anatómicos derivados de la atención a pacientes y de los laboratorios. (No INE RPN 1 2/04)
- La cirugía y necropsia
- Las terapias y unidades coronarias
- El equipo, material y objetos contaminados durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención
- Los equipos y dispositivos desechables utilizados para la exploración y toma de muestras de laboratorio, como rectoscopios, otoscopios, espejos vaginales y similares
- Los objetos punzocortantes usados (No INE RPN 1 2/05)
- Los que han estado en contacto con pacientes durante el diagnóstico y tratamiento, incluyendo, navajas, lancetas, jeringas, pipetas Pasteur, agujas hipodérmicas, de acupuntura y para tatuaje, bisturis, cajas de Petri, cristalería entera o rota porta y cubre objetos, tubos de ensayo y similares. (No INE RPN 1 2/06)

\* Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1995, además de los establecidos en la Norma NOM-052-ECOL-1993.

Los datos de rapidez de generacion varian de un pais, con respecto a otro, dependiendo de sus desarrollos tecnologicos, sociales o culturales, para determinar la rapidez de generacion de residuos solidos, existen empresas o instituciones que se dedican a realizar encuestas y estudios completos al respecto, tal es el caso de la Direccion General de Servicios Urbanos (D G S U ), organismo del Departamento del Distrito Federal (D D F ), que es el responsable de hacer, entre otras cosas, estudios de cuantificación de los residuos solidos de la ciudad de Mexico, para tomar las medidas pertinentes de su control

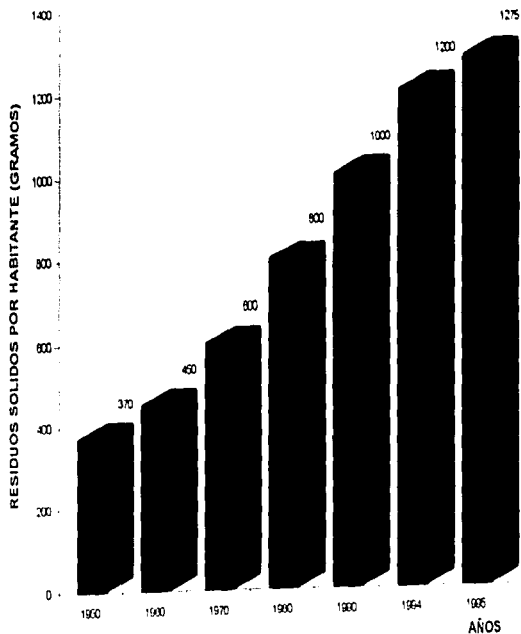
Los residuos sólidos, segun su tipo y características, deben de recibir un tratamiento especifico, tanto en su recoleccion, como en su almacenamiento, manejo y eliminacion a disposicion final

#### 4.5.2 DESCRIPCION GENERAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS Y HOSPITALARIOS EN LA CIUDAD DE MEXICO, D.F.

El manejo de los residuos sólidos es el reflejo de las características del proceso de urbanización de la Ciudad de México; es por esto que , conforme pasan los años, la generacion de basura y su manejo, crecen en proporcion directa al tamaño de la poblacion, nivel de ingresos y patrones de consumo Asi, tenemos que diariamente en 1950, se producian 370 gramos de residuos sólidos por habitante, principalmente biodegradables; en 1960 la producción de residuos solidos por habitante se incremento a 450 gramos; para 1970 la cantidad era de 600 gramos, en 1980 se generaban 800 gramos y en 1990 se alcanzo la cifra de 1000 gramos; en 1994 la cantidad diaria de residuos solidos generados por habitante, fue de 1,200 gramos. En junio de 1995, la cifra era de 1,275 gramos, segun datos de la Comision de Ecologia de la Camara de Diputados. La Figura (4.3), presenta una grafica que muestra estos incrementos en la rapidez de generacion

En la Ciudad de Mexico y la Zona Metropolitana, el principal tratamiento y disposicion final que reciben los residuos sólidos domiciliarios, es el confinamiento en rellenos sanitarios; este servicio es proporcionado por las autoridades delegacionales o municipales, el cual incluye el servicio de recoleccion a las puertas de los domicilios, y aunque es gratuito al usuario, se cobra a traves de las contribuciones o impuestos que rigen en la ciudad. Este proceso se ha utilizado durante mucho tiempo y paralelamente ha ocasionado problemas politicos y sociales, sin embargo, las autoridades han buscado alternativas que permitan aprovechar, de alguna manera, los residuos solidos que se generan en la ciudad, y reducir los problemas sociales que pudieran surgir, tal es el caso de la planta Industrializadora de Desechos Solidos de San Juan de Aragon, la cual recibe alrededor de 500 toneladas diarias de residuos solidos , de las cuales una parte, la de la basura organica, se destina a la fabricacion de fertilizantes (composta), y la inorganica a la recuperacion de ciertos materiales como son papel, carton, vidrio, aluminio, etc, asi mismo esta planta cuenta con tres lineas de incineracion, con una capacidad de 30 toneladas diarias. La planta iniciò sus operaciones en 1974, pero fue cerrada en 1984 por falta de presupuesto para su mantenimiento, y nuevamente fue puesta en operacion en 1991, sin embargo, los incineradores no estàn operando al 100% de su capacidad.

Figura 4.3  
RAPIDEZ DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CD. DE MEXICO, D.F.



El manejo de los residuos sólidos generados en unidades médicas y establecimientos dedicados al cuidado de la salud humana, presentan serios problemas y riesgos a la salud, principalmente para el personal que participa directamente en su manejo, así como para la población en general, debido a su carácter infeccioso y peligroso de algunas de sus fracciones. La fracción de residuos sólidos orgánicos normales puede separarse y manejarse de manera más sencilla, pero la fracción infecciosa-peligrosa tiene que ser sometida a un tratamiento para eliminar su peligrosidad antes de ser dispuestos en un relleno sanitario o sitio de confinamiento, la mayoría de los grandes hospitales o centros dedicados al cuidado de la salud humana en la ciudad de México poseen incineradores dentro de sus instalaciones para incinerarlos, pues tienen prohibido entregar sus desperdicios biológicos-infecciosos o patológicos, a los recolectores públicos de basura, con excepción de las cenizas que se producen después de la incineración de éstos.

Aunque recientemente se han inventado otros procesos de eliminación de residuos sólidos hospitalarios, como son la inactivación térmica, la esterilización por cobalto 60, la esterilización con microondas, la esterilización con vapor y gases de óxido de etilenoformaldehído u óxido de cloro, la esterilización con vapor de agua, y la desinfección química especial con soluciones muy concentradas de hipoclorito de sodio, tal como se puede ver en la Tabla (4.5) en donde se dan las alternativas de tratamiento, recolección, transporte y disposición final de estos residuos. La eliminación final por excelencia sigue siendo la incineración, así mismo, quienes poseen uno de estos nuevos procesos, han declarado que tras la aplicación del nuevo proceso ya sea inactivación o esterilización o microondas, deben llevar a incinerar sus residuos, tal como se puede observar en la Figura (4.4); pues es muy poca la confiabilidad que ofrecen estos nuevos procesos tecnológicos, en cuanto a la eliminación total de la parte biológico-infecciosa o patológica de los residuos.

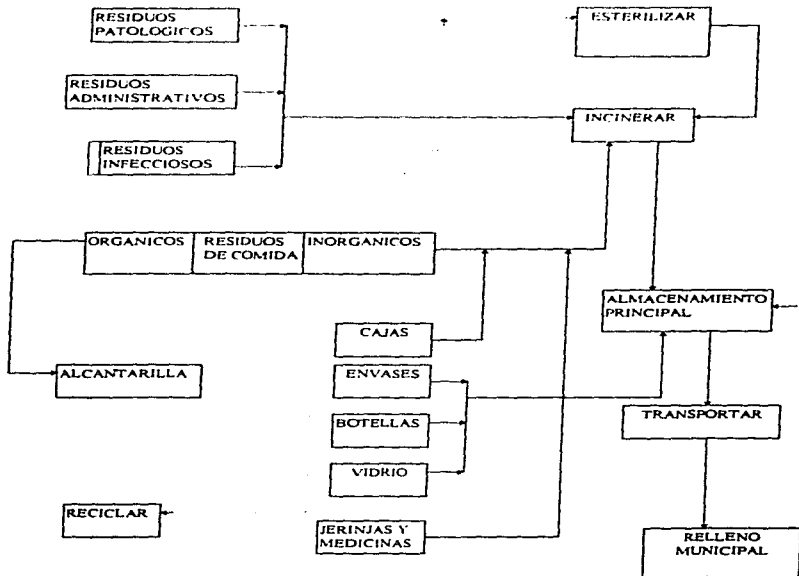
En México se conoce muy poco acerca de los nuevos procesos de eliminación de residuos sólidos, dado que todas sus tecnologías son extranjeras, además de que estos nuevos procesos resultan muy caros, tanto en su precio, como en su mantenimiento, en comparación con los costos de un incinerador, sin embargo, la Legislación Ambiental Mexicana además de los incineradores, permite el uso de sistemas de desinfección térmica con vapor de agua. Como información adicional, se sabe que en Alemania, las leyes ambientales de aquel país, permiten únicamente el uso de plantas de incineración, para la eliminación de los residuos hospitalarios, o bien que el hospital generador de residuos cuente con su incinerador propio; y, aunque también está permitido el proceso de desinfección térmica, el resultado final del proceso debe ser llevado a una planta de incineración, para asegurar su destrucción total. La Tabla (4.6), nos presenta un cuadro comparativo de los procesos de disposición final de los residuos sólidos hospitalarios, en Alemania.

TABLA 4.5 METODOS DE TRATAMIENTO CON TRANSPORTE Y DISPOSICION DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

Tipos de residuos	Pasos para el proceso																						
	Almacenamiento de residuos					Transporte de residuos			Reducción de volumen		Técnicas de desinfección				Disposición								
	Internos		Externos			Internos	Externos		(en el sitio)		en el sitio		fuera del sitio		Final								
	Bolsa roja	Bolsa blanca	Contenedor puntigudo	Sueltos en el contenedor	Compactado	Cerro	Hidráulico	Neumático	Canal	Carroón	Incineración	Compactación	Pulsación Humeda	Estereización	Incineración	Irradiación	Desinfección química	Incineración	Estereización	Refino sanitario	Incineración	Reclaje	
Residuos Patológicos	X					X		X			X			X	X	X	X						
Residuos afilados	X			X		X	X	X	X	X	X			X	X	X		X	X			X	
Residuos Administrativos		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	
Cajas		X		X		X				X	X	X	X							X	X	X	
Residuos de Alimentos		X		X		X	X			X				X						X	X		
Enferos				X	X	X				X		X								X		X	
Solates				X	X	X				X		X								X	X		X
Jeringas y Medicina		X			X									X	X	X				X	X		

FUENTE: Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, Harry M. Fresh

FIGURA 4.4 METODO PRINCIPAL PARA LA DISPOSICION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS\*



Ruta principal

Ruta alterna

\* FUENTE: Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and disposal  
Harry M. Freeman

TABLA 4.6 COMPARACION DE LOS PROCESOS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS, EN ALEMANIA<sup>5</sup>

PLANTA DE INCINERACION	DESINFECTACION TERMICA	MICROONDAS
PROCESO APROBADO POR LA LEGISLACION AMBIENTAL ALEMANIA. LA REDUCCION VOLUMETRICA DE LOS RESIDUOS, HASTA EN UN 10% DE SU VOLUMEN ORIGINAL.	PROCESO APROBADO POR LA LEGISLACION AMBIENTAL ALEMANIA. DESINFECTACION ESTERILIZACION MEDIANTE LA APLICACION DE VAPOR DE AGUA A TEMPERATURAS SUPERIORES A LOS 127°C.	PROCESO NO APROBADO POR LA LEGISLACION AMBIENTAL ALEMANIA. NO EXISTE GARANTIA DE UNA ESTERILIZACION ABSOLUTA.
ELIMINACION SEGURA DE LOS MICROORGANISMOS PATOGENOS.	EL VAPOR DEBE DE PRODUCIRSE SEPARADO DEL PROCESO.	PUEDEN CAUSAR DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE DEL AREA DE DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS.
EL MAS CONVENIENTE PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS ORGANICOS.	ES NECESARIA LA ELIMINACION DE SUSTANCIAS CASIVAS ANTES DE APLICAR EL PROCESO. LOS METALES PESADOS NO SERAN REMOVIDOS DEL RESTO DE LOS DESECHOS PATOLOGICOS ASI MISMO EL CALENTAMIENTO LIBERARA A LOS VAPORES DE LOS COMPUESTOS CON MERCURIO.	ES NECESARIA LA ELIMINACION DE SUSTANCIAS OLOROSAS ANTES DE APLICAR EL PROCESO. LOS METALES PESADOS NO SERAN REMOVIDOS DEL RESTO DE LOS DESECHOS PATOLOGICOS ASI MISMO EL CALIENTAMIENTO LIBERARA A LOS VAPORES DE LOS COMPUESTOS CON MERCURIO.
EXISTE UN APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA TERMICA LIBERADA LA CUAL PUEDE UTILIZARSE COMO GENERADOR DE VAPOR PARA LAVANDERIAS.	POSTERIOR A LA APLICACION DE PROCESO LOS DESECHOS DEBERAN DE INCINERARSE. PERO LOS METALES PESADOS NO SE DESTRUYEN. ADEMÁS NO EXISTE UNA ELIMINACION TOTAL SEGURA DE LOS MICROORGANISMOS PATOGENOS.	
PROCESO POSTULADO PARA FORMAR PARTE EN LA LEGISLACION AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD EUROPEA.	PROCESO POSTULADO PARA FORMAR PARTE EN LA LEGISLACION AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD EUROPEA, PERO CON CIERTAS RESTRICCIONES.	

<sup>5</sup> Fuente: HÖLTER-INDUSTRIEANLAGEN (AUSTRIA) Ges m.b.H., "CLINICAL REFUSE DISPOSAL PROCEDURE IN GERMANY", 1994.

En resumidas cuentas, el propósito de la eliminación de los residuos sólidos hospitalarios biológicos-infecciosos o patológicos, es evitar que la población tenga contacto directo con ellos, pues se pueden presentar cuadros de contagio de enfermedades, y la propagación de una epidemia o enfermedad colectiva de graves consecuencias, tal como ocurrió en julio de 1984 en la ciudad de Goiânia, Brasil, donde unos pepenadores de los tiraderos estuvieron en contacto con residuos patológicos infectados de virus de la hepatitis tipo "E", terrible enfermedad infecciosa que costó la vida de muchas personas, principalmente familiares de los pepenadores y vecinos de los tiraderos.

Muchos países, incluido México, se atreven a afirmar que, de todos los procesos de eliminación de residuos patológicos, el más confiable es el de la incineración, pues con él se eliminan los materiales biológicos-infecciosos a temperaturas muy elevadas, imposibles de soportar por los agentes patógenos que pudieran estar presentes dentro de los residuos.

#### 4.6 MARCO INTERNACIONAL SOBRE INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS

Es conveniente reflexionar sobre las experiencias de la reglamentación existentes en otros países que cuentan con más de 20 años en la utilización y desarrollo de estas tecnologías, que se vienen utilizando continuamente desde los años 60's para la destrucción de los residuos y que posteriormente para los años 70's se comenzó a utilizar ya para la eliminación de residuos peligrosos. En la actualidad se han desarrollado tecnologías cada vez más eficientes en los procesos térmicos para el tratamiento de residuos peligrosos y con mayores eficiencias en el control de emisiones, esto se ha observado principalmente en los países más industrializados. Como ejemplo evolutivo se puede observar en la Tabla (4.7) un historial en el control de emisiones.

TABLA 4.7 HISTORIAL EN EL CONTROL DE EMISIONES EN CHIMENEA DE INCINERADORES DE RESIDUOS<sup>F</sup>

Contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )	Alemania 1986	Alemania 1989	C.E.E. 1989	Holanda 1989	Francia 1986	Suecia 1986
CO	100	50	100	50	-	100
Polvos	30	10	30	5	50	20
SO <sub>2</sub>	100	50	30	20	-	-
NO <sub>2</sub>	500	100	-	70	-	-
HCl	50	10	50	10	100	100
HF	5	1	1	1	-	-
CCl <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	20	10	20	10	100ppm	-
Clase 1 (Cd, Hg)	0.2	0.1	0.2	0.05	0.3	0.05 (1g)
Clase 2 (As, Co, Se, Ni)	1.0	1.0 (Sb, As, Pb, Co, Cr, Cu, Mn, Sn)	1.0 (Pb, As)	1.0	1.0 (As)	-
Clase 3 (Pb, Cr, Cu, Zn)	5.0	-	5.0	1.0	5.0	-
Mostras	-	0.1	-	0.1	-	0.1
promedio	Día	Día	Mes	Hora	-	Mes
Relacionado a:	11% O <sub>2</sub>	11% O <sub>2</sub>	11% O <sub>2</sub> , 6% CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> 11%	7% CO <sub>2</sub>	10% CO <sub>2</sub>

<sup>F</sup> Fuente: Monografía No 3 Residuos Peligrosos en el Mundo y México. SEDESOL, I.N.E. 1993.

##### 4.6.1 ESTADOS UNIDOS

La incineración en Estados Unidos es actualmente uno de los grandes componentes en el manejo de residuos peligrosos, principalmente durante la última década en que la política cambió dejando atrás los rellenos sanitarios para buscar tratamientos que redujeran el volumen y la toxicidad de estos residuos.



Actualmente los residuos peligrosos que se incineran presentan una gran variedad, encontrando entre otros a los siguientes solventes, lodos, asientos de destilación y productos químicos orgánicos. Alrededor de 5 millones de toneladas de estos residuos se queman cada año, el 40% en incineradores y el 60% en calderas y hornos industriales (BIF's).

Dentro de los parámetros de control que maneja la reglamentación para incineradores se tiene la Eficiencia de Remoción y Destrucción (DRE) de los principales constituyentes orgánicos, la cual debe ser de 99,99% o más y en específico para dioxinas y bifenilos policlorados (BPC's) de 99,9999%. En la Tabla (4.8) se puede observar las emisiones al aire permitidas en Estados Unidos en los procesos de incineración.

El control de incineradores, calderas y hornos industriales, se lleva a cabo a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y los Estados autorizados por el Acta de la Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA). Los primeros permisos y reglamentos para incineradores se promulgaron en 1981, donde se controlaban a los Principales Constituyentes Orgánicos Peligrosos (POCHs), HCl, y otros aspectos particulares de incineradores. En 1988 la Oficina de Residuos Sólidos (OSW) solicitó a las oficinas regionales de la EPA que estos permisos contuvieran una mejora sustancial incluyendo los controles de metales y de los Productos de Combustión Incompleta (PIC's).

Actualmente las instalaciones en calderas y hornos industriales BIF's que queman residuos peligrosos se encuentran en un estado provisional de reglamentación, tales como los hornos de cemento que están sujetos a la reglamentación adoptada por la EPA en 1991, que incluye el control de emisión para metales, PIC's y gases ácidos, hasta que se publique un permiso definitivo para este tipo de instalaciones.

La posición de la EPA es que la incineración puede ser un medio seguro y efectivo para la disposición de los residuos peligrosos siempre y cuando se cumplan las guías y estándares que marca la normatividad.

**TABLA 4.8 EMISIONES DE ESTADOS UNIDOS EN CHIMENEA  
DE INCINERADORES DE RESIDUOS  
(7% OXIGENO A 1 A TM Y 25°C. BASE SECA)<sup>5</sup>**

CONTAMINANTE	PARAMETRO
CO	-Nuevas instalaciones 50 a 150 ppm (promedio de 4hrs)
	-Instalaciones en operación 50 a 250 ppm
NOx	-Nuevas instalaciones >250 ton/día 180 ppm
	-Instalaciones en operación > 250 ton/día 180 ppm
SOx	-Nuevas instalaciones 80% de reducción ó 30 ppm
	-Instalaciones en operación > 250 ton/día 75% de reducción ó 35 ppm.
Partículas	-Instalaciones en operación < 250 ton/día 50% de reducción ó 80 ppm.
	-Nuevas instalaciones 15 mg/dscm (0.007gr/dscf)
	-Instalaciones en operación > 250 ton/día 27mg/dscm (0.012gr/dscf)
HCL	-Instalaciones en operación < 250 ton/día 69 mg/dscm (0.03gr/dscf)
	-Nuevas instalaciones 95% de reducción ó 25 ppm.
	-Instalaciones en operación > 250 ton/día 95% de reducción ó 35 ppm.
Metales pesados	-Instalaciones en operación < 250 ton/día 50% de reducción ó 50 ppm.
	-Se engloban con las partículas
Dioxinas y furanos	-Nuevas instalaciones 13 ng/dscm (0.2 ng/dscm TEQ)
	-Instalaciones en operación > 250 ton/día 30 ng/dscm (0.5 ng/dscm TEQ)
	-Instalaciones en operación < 250 ton/día 60 ng/dscm (1.0 ng/dscm TEQ)

<sup>5</sup> Fuente: Monografía No.3 Residuos Peligrosos en el Mundo y México.  
SEDESOL, I.N.E. 1993.

El comité EPA-Estado, cuestionará primero la relación entre las instalaciones de incineración de desechos peligrosos y la reducción en la fuente de los mismos para elaborar recomendaciones para esta última que deberán ser adoptadas.

Como segundo paso EPA define como puede implementar sus políticas para que las instalaciones de incineración de residuos peligrosos puedan continuar con el avance de innovación tecnológica, así como explorar y desarrollar otras alternativas tecnológicas para el tratamiento de residuos sobre las tecnologías ya existentes.

La Acta de la Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el estado regulan conjuntamente la generación, transporte, tratamiento, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos. EPA tiene la facultad para revisar cualquier evaluación del lugar que ocupa la combustión de los residuos peligrosos en el manejo de éstos; estrategia que debe ser tomada tanto como un asunto federal como del estado. El objetivo inicial del comité incluye una especial atención en la reducción de la generación de residuos en la fuente, a través del cumplimiento de los parámetros técnicos permitidos, tecnologías de tratamiento alternativo y una mejor fundamentación técnica para la toma de decisiones.

#### 4 6 2 ALEMANIA

En Europa los procesos térmicos para el tratamiento de los residuos, se han desarrollado ampliamente por la falta de espacio para el emplazamiento de rellenos sanitarios y por la gran demanda de energéticos para enfrentar las inclemencias del clima.

Uno de los países que presenta un liderazgo en este tipo de instalaciones es Alemania, por lo que presentaremos los puntos más relevantes de su regulación para la incineración de residuos sólidos. En este país la legislación al respecto, consiste en la Guía Técnica de Desechos y la Guía Técnica de Aire. También existe La Ley Federal de Protecciones de Emisiones (Bundes Immisschutzgesetz), publicada el 14 de mayo de 1990, que es de carácter más general y está por encima de los lineamientos técnicos, esta ley también describe las medidas generales de protección a influencias dañinas al medio ambiente por contaminantes atmosféricos, ruido, vibraciones y procesos similares.

La política para la norma de emisiones en incineradores se basa en parámetros como la separación de materiales, en el cual se le da prioridad a usar o reciclar el desecho en la medida que sea técnicamente factible, si no resultan costos adicionales no aceptables y si existe un mercado para este material, bajo el control de las autoridades respectivas. Las normas y criterios para las condiciones de operación se refieren a los valores límites a una concentración de oxígeno en el gas de escape del 11%.

Es conveniente aclarar que en el caso de Alemania, las normas están referidas a condiciones de operación distintas a las de Estados Unidos, por lo que es difícil realizar una comparación, sin embargo en la Tabla (4.9), se presenta un análisis comparativo de las normas de emisión a la atmósfera para incineradores, que regían en 1990 en los Estados Unidos y Alemania.

TABLA 4.9 COMPARACION DE LAS NORMAS DE EMISION PARA INCINERADORES  
EN ESTADOS UNIDOS Y ALEMANIA (1990)<sup>2</sup>

Proceso/Parámetro	Estados Unidos	Alemania
Separación de materiales	25% de reducción del residuo	Uso o reciclaje del residuo en la medida en que sea técnicamente factible
CO	50 ppm a 150 ppm (promedio de cuatro horas) según el tipo de incinerador	50 mg/m <sup>3</sup> en promedio diario, 100 mg/m <sup>3</sup> en promedio horario. No deben exceder el 90% de los valores medidos en 24 horas 150 mg/m <sup>3</sup>
Temperatura.	Máxima temperatura de gases de escape a la entrada del equipo de control de partículas, de 450 °F o menos	Temperatura mayor a 850° C en aire de alimentación. En la cámara de post-combustión tiene que haber todavía 1200°C Y 8% de volumen de O <sub>2</sub> o 3% en caso de combustibles líquidos o incineración en condiciones intencionalmente pobres de oxígeno. Las temperaturas, tiempos de retención y % de oxígeno pueden variar si se demuestra que nos se generan dioxinas.
Metales pesados y partículas	a) Partículas Nuevas instalaciones 0.015 gr/dscf* Norma federal 0.015 gr/dscf > 2,200 ton/día 0.030 gr/dscf < 2,200 ton/día	Partículas ≤ 30 mg/m <sup>3</sup> promedio de media hora ≤ 10 mg/m <sup>3</sup> promedio diario Metales pesados promedio sobre el periodo de muestreo Cd, Ti, Hg, ≤ 0.05 mg/m <sup>3</sup> Sb, AS, Pb, Cr, CO, Mn, Ni, V, Sn, en total ≤ 0.5 mg/m <sup>3</sup>
Emisiones orgánicas (Dioxinas-CDD, Furanos-CDF)	CDD/CDF Nuevas instalaciones 5-30 ng/m <sup>3</sup> > 250 ton/día 75 ng/m <sup>3</sup> (≤ 250 ton/día) Norma Federal 5-30 ng/m <sup>3</sup> (>250 ton/día) 125 ng/m <sup>3</sup> (>250 ton/día) 500 ng/m <sup>3</sup> (≤ 250 ton/día)	Orgánicas indicados como Carbon total No deben de exceder de los 10 mg/m <sup>3</sup> en el gas de escape en promedio diario y los 20 mg/m <sup>3</sup> en promedio de 30 minutos Dioxinas y furanos Valor sumatorio promedio en cualquier periodo de muestreo no debe exceder 0.1 ng/m <sup>3</sup>

TABLA 4.9 (CONTINUACION)

Proceso/Parámetro	Estados Unidos	Alemania
<b>Emisiones de gases ácidos</b>	Nuevas instalaciones 95% o 25 ppm (>250 ton/día) 80% o 25 ppm (≤ 250 ton/día)	Compuestos clorados En promedio diario ≤ 10mg/m <sup>3</sup> En promedio de 30 minutos ≤ 60 mg/m <sup>3</sup>
HCl	Norma federal 95% o 25 ppm (≤ 2,200 ton/día)	
SO <sub>2</sub> /SO <sub>x</sub>	95% o 25 ppm (>250 ton/día) 50% o 25 ppm (>250 ton/día) No hay norma para ≤ 250 ton/día	
NOx	Nuevas instalaciones 85% o 25 ppm (>250 ton/día) 50% o 30 ppm (≤ 250 ton/día) Norma federal 85% o 30 ppm (> 2,200 ton/día) 50% o 30 ppm (> 250 ton/día) No hay norma para ≤ 250 ton/día	En promedio diario ≤ 50 mg/m <sup>3</sup> En promedio de 30 minutos ≤ 200 mg/m <sup>3</sup>
	Nuevas instalaciones 120-200 ppm (>250 ton/día, valor preciso a determinar Norma federal No especificada	En promedio diario ≤ 200 mg/m <sup>3</sup> En promedio de 30 minutos ≤ 400 mg/m <sup>3</sup>
<b>Procesos de monitoreo continuo</b>	Nuevas instalaciones: Nox, SO <sub>2</sub> , opacidad, buenas prácticas de combustión, anualmente o cada tres años, partículas, COD/CDF, Hcl	Para incineradores de residuo municipal y flujo de masa mayor a 0.75 ton/h-pulvo, compuestos inorgánicos gaseosos de cloro. Para otras instalaciones de incineración además se monitorea SO <sub>2</sub> compuestos gaseosos inorgánicos de fluoruro; estas mediciones se pueden ahorrar, si está demostrado que solamente se originan pequeñas cantidades de estos contaminantes. Se debe monitorear continuamente: CO, Polvo C-organicos, compuestos CL, HF, Sox, Nox, O <sub>2</sub> , temperatura, humedad relativa, volumen de gases de escape, presión.

<sup>5</sup> Fuente: Seminario de tratamiento térmico, SEDESOL, I.N.E. 1993.

\* dscf dry standard cubic feet  
CDD-Cloro Dibenzo Dioxina  
CDF-Cloro Dibenzo Furano

#### 4.6.3 ACUERDOS Y PUNTOS DE OPINIÓN INTERNACIONALES

##### 4.6.3.1 LINEAMIENTOS DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACION Y DESARROLLO ECONOMICO

Este organismo, recomienda en cuanto a las emisiones de óxido de azufre y partículas de las fuentes fijas de combustión, que los gobernantes de los países miembros establezcan objetivos al respecto, para ser implementados tan pronto como sea posible a través de acciones como

- a). Promover el uso de combustibles limpios en las fuentes de emisión cercanas al nivel del suelo, especialmente en áreas urbanas y donde las emisiones ocurren bajo condiciones meteorológicas desfavorables
- b). Asegurar el suministro adecuado de combustibles limpios, para promover las instalaciones donde sea necesario una desulfuración, en refinerías y otras instalaciones apropiadas
- c). Limitar el contenido máximo de sulfuros en combustibles destilados.
- d). Impulsar el confinamiento de combustibles altamente contaminantes en grandes instalaciones, equipadas con chimeneas altas y donde sea necesario la retención de partículas y/o la desulfuración
- e). Impulsar el uso eficiente de combustibles

Para la implementación de estas acciones, se deben considerar los impactos ambientales locales y regionales.

La Comunidad Económica Europea (CEE) y la Organización de Comercio y Desarrollo (OCDE) han adoptado en su mayoría la normatividad aplicable en Alemania.

#### 4.7 LEGISLACION AMBIENTAL

La contaminación atmosférica es considerada como un delito debido a que, como ya se indicó en el Capítulo 3, son muchas y muy graves los delitos que se causan a nuestra salud y al ambiente en general, del cual dependemos para nuestra subsistencia. El aire contaminado es insalubre para todos los seres vivos y los seres humanos que sin distinción tendrán que respirar ese aire enrarecido.

El derecho ambiental puede definirse como "el conjunto de normas jurídicas que regulan las conductas humanas que pueden influir de manera relevante en los procesos de interacción que tienen lugar entre los sistemas de organismos vivos y sus sistemas de ambiente mediante la generación de organismos vivos y sus sistemas de ambiente mediante la generación de efectos de los que se espera una modificación significativa de las condiciones de existencia de estos individuos".

##### 4.7.1 ESTRUCTURA DE LA REGULACION AMBIENTAL MEXICANA

La intención del Programa Mexicano de Regulación Ambiental es similar a su contraparte en los EUA, en el cual se contempla un sistema descentralizado donde las autoridades locales asumirán la responsabilidad de vigilar por el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

El Programa de Regulación Ambiental Mexicano se basa en los Artículos 4, 25, 27, 73, y 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual establece las jurisdicciones Federal, Estatal y Municipal en materia de protección ambiental y faculta al Congreso Federal a promulgar la Legislación Ambiental.

##### 4.7.1.1 BASES CONSTITUCIONALES

- **ARTICULO 4**  
Establece el Derecho a la Protección de la Salud.
- **ARTICULO 25**  
Establece las Bases y Alcances para un Desarrollo Sustentable.
- **ARTICULO 27**  
Establece la función social de la propiedad con objeto de ordenar los asentamientos humanos, preservar y restaurar el equilibrio ecológico, evitar la destrucción de los elementos naturales y evitar daños en perjuicio de la sociedad:

"El Estado tiene la obligación de regular el aprovechamiento de los elementos susceptibles de aprobación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar de su conservación "

"Corresponde a la Nación el dominio directo de todos los minerales o sustancias (vetas, mantos, masas o yacimientos) que constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, los productos derivados de la descomposición de las rocas y los combustibles minerales sólidos, líquidos o gaseosos en los términos del Derecho Internacional "

- ARTICULO 73

El cual establece las facultades del Congreso de la Unión para dictar leyes que establezcan la congruencia de los tres niveles de gobierno en materia de protección al ambiente:

"El Congreso tiene facultad para expedir leyes que establezcan la congruencia del Gobierno Federal, Estatal y Municipal en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico."

#### 4.7.2 AUTORIDADES AMBIENTALES MEXICANAS

##### 4.7.2.1 SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA

(SEMARNAP)

A finales de 1994, se modificaron diversos instrumentos jurídicos, específicamente en materia ambiental, como fueron:

- El decreto presidencial que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, publicado el 28 de Diciembre de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Mediante este decreto se crea la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), estableciéndose en el Artículo 32 BIS su competencia y atribuciones en materia ambiental
- El Reglamento Interior de la SEMARNAP, publicado el 8 de Julio de 1996 en el Diario Oficial de la Federación, estableció el Instituto Nacional de Ecología (I.N.E) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), como organismos descentralizados de esta dependencia.



- Mediante las modificaciones descritas en materia ambiental para la más eficaz atención y eficiente despacho de sus asuntos, la Secretaría contará con los órganos administrativos desconcentrados, como son el I.N.E y la PROFEPA, que le estarán jerárquicamente subordinados, con atribución específica para resolver sobre las materias que a cada uno se determine, de conformidad con las disposiciones aplicables
- El Acuerdo que Regula la Organización y Funcionamiento Interno del I.N.E y la PROFEPA publicado el 8 de Julio de 1996 en el Diario Oficial de la Federación con base en el cual se establece que los titulares de I.N.E y la PROFEPA serán designados por el Presidente de la República
- Estas agencias asumen virtualmente todas las responsabilidades establecidas en el artículo 35 del presente reglamento, excepto para áreas específicas que se encuentren dentro de las jurisdicciones de las Subsecretaría de Pesca Subsecretaría de Recursos Naturales. Las facultades de las agencias de regulación ambiental se resumen a continuación

#### 4.7.2.2 INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA (I.N.E)

El I.N.E es el brazo regulador de SEMARNAP, es dirigido por un Presidente y tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 54 del reglamento

Para el ejercicio de sus atribuciones el Instituto contará con las siguientes unidades administrativas:

- 1) Presidencia
- 2) Unidad Coordinadora de Areas Naturales Protegidas.
- 3) Dirección General de Vida Silvestre
- 4) Dirección General de Gestión e Información Ambiental.
- 5) Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.
- 6) Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental.
- 7) Dirección General de Regulación Ambiental.

La Unidad Coordinadora de Areas Naturales Protegidas Tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 56.

Dirección General de Vida Silvestre, tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 57.

Dirección General de Gestión e Información Ambiental, tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 58.

**Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas, tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 59**

**Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental, tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 60.**

**Dirección General de Regulación Ambiental, tendrá las atribuciones establecidas en el artículo 61**

**Las delegaciones de la SEMARNAP en los estados coordinan la implementación de las actividades anteriores con las autoridades estatales y municipales.**

#### **4.7.2.3 PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE (PROFEPA)**

**La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) encargada de vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales aplicables relacionadas con la prevención y control de la contaminación ambiental, los recursos naturales, los bosques, la flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas, pesca y zona federal marítimo terrestre, playas marinas y terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito de aguas marítimas, áreas naturales protegidas, así como establecer mecanismos, instancias y procedimientos administrativos que procuren el logro de tales fines además para el reforzamiento de la legislación ambiental, existen tres subprocuradurías organizadas de acuerdo con los siguientes cargos:**

- 1) Recursos Naturales**
- 2) Auditoría Ambiental**
- 3) Verificación Industrial**

**La Subprocuraduría de Auditoría Ambiental identifica a los profesionistas y compañías calificadas para conducir auditorías ambientales, diseña programas de entrenamiento para la realización de auditorías ambientales, conduce auditorías ambientales multi-medios, tanto de servicios públicos como privados que se encuentren bajo jurisdicción federal; edita recomendaciones o resoluciones sobre medidas preventivas y correctivas a ser aplicadas por los servicios basándose en los resultados de la auditoría; e inicia auditorías ambientales de aquellas plantas que considere poseen potencial de riesgo ambiental**

**La Subprocuraduría de Verificación Normativa conduce verificaciones in situ para determinar el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, identifica violaciones y recomienda sanciones administrativas incluyendo multas, clausuras y arrestos; y monitorea el cumplimiento con las provisiones de las resoluciones ambientales administrativas finales.**

Las delegaciones estatales de la PROFEPA realizan la función de la oficina sobre una base local, sujetas a sus limitaciones jurisdiccionales. El propósito es promover la descentralización de las actividades regulatorias y coordinar la implementación de las políticas ambientales federales con las autoridades estatales y municipales. Las delegaciones monitorean, cuando la actividad o instalación no se encuentre dentro de la jurisdicción de otra federación, gobierno estatal o municipal, el cumplimiento de la legislación, estándares, criterios y programas para protección ambiental; establecen los mecanismos y procedimientos administrativos para garantizar la protección ambiental, e investigan y llevan a cabo reclamaciones de incumplimiento con las leyes ambientales, regulaciones y estándares técnicos establecidos.

#### 4.7.2.4 AUTORIDADES AMBIENTALES ESTATALES Y MUNICIPALES

Como regla general, los gobiernos estatales han creado agencias o secretarías encargadas de la administración de sus leyes ambientales. Excepto en materia de residuos peligrosos y aguas federales, los cuales son de jurisdicción exclusiva del gobierno federal, los estados están facultados, a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus correspondientes estatutos ambientales, a establecer, entre otras cosas, una política ambiental estatal, aplicar e imponer la ley ambiental dentro del estado, regular el aprovechamiento de los recursos naturales, evaluar el impacto ambiental de los proyectos públicos y privados propuestos dentro de su jurisdicción estatal, coordinar y apoyar las políticas ambientales con las autoridades municipales, y crear los mecanismos administrativos para investigar el cumplimiento y procesar las violaciones a las leyes ambientales.

#### 4.7.3 DISTRIBUCION JURISDICCIONAL

El sistema regulatorio mexicano está estructurado de forma similar a su contraparte en EUA en materia ambiental de jurisdicción exclusiva federal, ya que se basan en la Constitución Política y la legislación federal. Los estados y municipios tienen jurisdicción sobre todos los asuntos ambientales dentro de sus respectivos territorios. La jurisdicción concurrente en muchas áreas está establecida en la legislación ambiental federal y estatal.

#### **4.7.3.1 JURISDICCION FEDERAL.**

**El gobierno federal tiene jurisdicción exclusiva en las siguientes materias ambientales:**

- El desarrollo de la política ecológica nacional
- Ejecución de las regulaciones ambientales dentro de la jurisdicción federal
- Asuntos ambientales los cuales involucren o afecten a 2 ó más estados o a otro país
- La promulgación de Normas Oficiales Mexicanas (NOM)
- La regulación de actividades de alto riesgo y.
- La regulación de materiales y residuos peligrosos.

#### **4.7.3.2 JURISDICCION ESTATAL Y MUNICIPAL.**

Los estados y municipios tienen jurisdicción sobre el desarrollo de políticas ambientales locales, las cuales deben cumplir o exceder aquellas establecidas a nivel federal; la regulación de actividades no consideradas de alto riesgo pero que poseen potencial adverso de impacto ambiental; la prevención y control de la contaminación dentro de sus respectivos territorios; la regulación local de agua; y la regulación del manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.

La jurisdicción concurrente entre el gobierno federal y los gobiernos estatales y municipales está considerada en el desarrollo de políticas ambientales congruentes y en la aplicación de la legislación, regulaciones ambientales y normas NOM a nivel local. Además, el gobierno federal está facultado para realizar acuerdos de coordinación con estados y municipios para facilitar la descentralización de las actividades regulatorias.

#### 4.7.4 LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

Los primeros antecedentes legislativos en materia ambiental se encuentran incluidos en la Constitución. Entre las primeras reglamentaciones ambientales se tiene la Ley de Conservación del Suelo y del Agua, promulgada en 1946. Posteriormente, en 1971, se decretó la Ley Federal para Prevenir y controlar la Contaminación Ambiental, así como sus respectivos reglamentos, como es el caso del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica por la Emisión de Humos y polvos; ambos generados por la Secretaría de Salud. En Enero de 1982, se emitió la Ley Federal de Protección al Ambiente, así como el Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación, en los cuales se preveía en forma limitada y centralizada, el derecho de estado a proteger al ambiente con el establecimiento de áreas de resguardo, mejoramiento, conservación y restauración. En 1987 se realizó una reforma a los Artículos 27 y 73 constitucionales, para adecuarlos a las condiciones entonces existentes.

En Enero de 1988 se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual es una guía legislativa que ayuda a controlar todas las formas de contaminación, y establece reglas para la conservación de recursos naturales, asesoramiento de impacto y riesgo ambiental, sanciones y zonificación ecológica. Además, esta ley requiere que los 31 estados constituyentes de la República Mexicana establezcan sus propios programas ambientales.

Finalmente en Diciembre 13 de 1996, se adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

La actual legislación ambiental mexicana se basa en la citada LGEEPA, sus Reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental. Las provisiones de esta legislación se aplicarán en la realización de inspecciones, la ejecución de medidas de seguridad, determinación de violaciones y sus sanciones respectivas, y procedimientos administrativos para apelar bajo estas regulaciones.

##### 4.7.4.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)

El moderno régimen legal mexicano en materia ambiental se basa en la LGEEPA, la cual fue publicada en el Diario Oficial el 13 de Diciembre de 1996, reemplazando las leyes ambientales anteriores. La LGEEPA es un completo estatuto ambiental que direcciona el espectro total de las emisiones ambientales, incluyendo la contaminación en todos los medios, conservación de recursos naturales, estimación de impacto y riesgo ambiental, declaración de zonas ecológicas y las posibles sanciones acreditables.

La LGEEPA es federal en su alcance, y en ausencia de regulaciones estatales y municipales, aplica a todos los recursos naturales y acciones de protección ambiental en México. Establece las jurisdicciones respectivas y los deberes de las autoridades federales, estatales y municipales en políticas y acciones ambientales.

La SEMARNAP a través del I.N.E. y la PROFEPA, junto con las autoridades estatales y municipales en materia ambiental son los encargados de aplicar, implementar y hacer valer las provisiones de la LGEEPA, sus Reglamentos y las Normas NOM y, donde sean aplicables, las leyes y ordenanzas ambientales locales.

Así, a partir de 1988 la SEDUE y desde 1992 la SEDESOL comenzaron a elaborar normas técnicas y criterios ecológicos, instrumentos jurídicos previstos por la LGEEPA, los cuales tienen por objeto establecer requisitos, especificaciones, condiciones procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente.

Los objetivos principales considerados en la LGEEPA son:

- ◆ Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación.
- ◆ Ordenamiento ecológico.
- ◆ Preservar, restaurar y mejorar el ambiente.
- ◆ Proteger las áreas naturales.
- ◆ Aprovechamiento racional de los recursos naturales.
- ◆ Prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.
- ◆ Organizar el funcionamiento de las instancias administrativas.
- ◆ Distribuir competencias en los tres niveles de gobierno.

La estructura general de la LGEEPA es la siguiente:

***-TITULO PRIMERO: DISPOSICIONES GENERALES***

- ◆ Distribución de Competencias y Coordinación
- ◆ Política Ambiental
- ◆ Instrumentos de la Política Ambiental

***-TITULO SEGUNDO: BIODIVERSIDAD***

- ◆ Áreas Naturales Protegidas
- ◆ Zonas de Restauración
- ◆ Flora y Fauna Silvestre

***-TITULO TERCERO: APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LOS ELEMENTOS NATURALES.***

- Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos
- Preservación Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos
- Exploración y Explotación de los Recursos no renovables

***-TITULO CUARTO: PROTECCION AL AMBIENTE.***

- Disposiciones Generales
- Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera
- Prevención y Control de la Contaminación del Agua y Ecosistemas Acuáticos
- Prevención y Control de la Contaminación de los Suelos
- Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas
- Materiales y Residuos Peligrosos
- Ruido, Vibraciones, Energía Térmica y Luminica, Olores y Contaminación Visual

***-TITULO QUINTO: PARTICIPACION SOCIAL E INFORMACION AMBIENTAL***

***-TITULO SEXTO: MEDIDAS DE CONTROL Y DE SEGURIDAD Y SANCIONES.***

- -Observancia de la Ley
- -Inspección y Vigilancia
- -Medidas de Seguridad
- -Sanciones Administrativas
- -Recursos de Inconformidad
- -Delitos de Orden Federal

**4.7.4.2 REGLAMENTOS DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE**

Los reglamentos suplementan y expanden la LGEEPA en su respectivo medio. Actualmente existen cinco Reglamentos Federales: Control de la Contaminación del Aire, Residuos Peligrosos, Ruido, Impacto Ambiental, Emisiones de Automóviles en el D F

Estos reglamentos intentan establecer claramente los mecanismos y procedimientos administrativos para cumplir los mandatos de la LGEEPA en las cinco áreas. Los Reglamentos consistentes con las provisiones de la LGEEPA, establecen la jurisdicción de las autoridades ambientales mexicanas, crean los requerimientos legales específicos que deberán cumplirse y las sanciones y recursos administrativos para el caso de incumplimiento en cada área

Los Reglamentos también contienen ciertos requerimientos de licenciamiento, autorización, manifestación y reporte dentro de sus respectivas áreas

#### **4.7.4.3 NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM)**

Los Reglamentos dependen de estándares técnicos ecológicos cuantitativos y criterios ecológicos para determinar su cumplimiento. Considerando esto, México inició el desarrollo de un número de nuevas regulaciones ambientales en 1988

Así mismo, existen Normas emitidas periódicamente por el Instituto Nacional de Ecología (I.N.E.), a través del Diario Oficial de la Federación, o bien en su órgano informativo llamado Gaceta Ecológica, las cuales buscan complementar y actualizar a las Leyes que previamente han sido emitidas, así como regular las actividades contaminantes o que alteren el medio ambiente

Dichas normas se denominan Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental (NOWECOL), y sustituyen a las Normas Técnicas Ecológicas desde el 10. de Junio de 1992. Las Normas Oficiales Mexicanas, a diferencia de sus antecesoras, no permiten incumplimiento alguno en cualesquiera de sus estatutos, siendo su carácter plena y totalmente obligatorio, y su violación constituye un delito que puede traer consigo sanciones económicas, administrativas o penales. Las Normas Oficiales Mexicanas aplican y rigen en todo el territorio nacional, aún cuando se contradigan con normas ambientales propias de los estados, aunque siempre favoreciendo el cumplimiento de las legislaciones ambientales estatales. Así mismo, las normas establecen un tiempo de gracia, desde su publicación hasta antes de su entrada en vigor, con el fin de atender comentarios u objeciones a sus contenidos.

La emisión de Normas Oficiales Ambientales, obedece también a los requerimientos de la Comisión Nacional de Normalización, la cual se encarga de recomendar la elaboración de normas que se consideren necesarias para el país, así como coordinar las tareas de las distintas dependencias, que participen en su elaboración

#### **4.8 ARTICULOS QUE SE DEBEN CUMPLIR PARA INCINERAR RESIDUOS HOSPITALARIOS**

Las disposiciones de la legislación ambiental que debe cumplir una planta de incineración; tiene que contemplar en forma mínima los artículos dispuestos en :

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
- Ley de Aguas Nacionales



- Reglamento de Aguas Nacionales
- Norma Oficial Mexicana 031
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental
- Ley General de Salud
- Ley de Salud para el D. F.
- Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario, Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios

Para la revisión de la anterior legislación se han tomado los siguientes temas:

- ⇒ Agua
- ⇒ Aire
- ⇒ Suelo
- ⇒ Residuos Peligrosos
- ⇒ Impacto Ambiental
- ⇒ Tramite de la Autorización ante la SEMARNAP
- ⇒ Salud Ambiental

En las siguientes páginas viene dicha relación.

4.8.1 A G U A

A. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO  
Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

Titulo IV. Protección Ambiental

ARTICULO	DESCRIPCION
Articulo 121	No podrán descargarse o infiltrarse aguas residuales sin tratamiento ni autorización.
Articulo 122	Evitar la contaminación de cuerpos receptores, interferencia en los procesos de depuración de las aguas y trastornos, impedimentos o alteraciones. Las aguas residuales que se descarguen, filtren o derramen habrán de reunir las condiciones necesarias para su aprovechamiento, sistemas y capacidad hidráulica de cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y sistemas de alcantarillado.
Articulo 123	Todas las descargas, infiltraciones o derrames deberán cumplir con las Normas y Condiciones Particulares de Descarga que para tal efecto se expidan y, en caso de contener materiales o residuos peligrosos, deberán contar con autorización de la Secretaría de Desarrollo Social.

## B. LEY DE AGUAS NACIONALES

## Título IV. Derechos de Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 18	La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo causará las contribuciones fiscales que señale la ley, en tales declaraciones habrá de indicarse que se encuentra inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua.
Artículo 20	La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales por parte de personas físicas o morales requiere concesión del Ejecutivo Federal a través de la Comisión Nacional del Agua
Artículo 29	Entre las obligaciones del concesionario o asignatario se mencionan sujetarse a las disposiciones generales y normas en materia de seguridad hidráulica y de equilibrio ecológico y protección al ambiente, y permitir a la Comisión Nacional del Agua la lectura y verificación del funcionamiento de medidores.
Artículo 30	Los títulos de concesión, de asignación y los permisos a que se refiere la Ley de Aguas Nacionales deberán inscribirse en el Registro Público de Derechos del agua.

C. REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 52	Los concesionarios deberán contar con medidores de volumen de agua de aprovechamiento
Artículo 57	Los títulos de concesión y permisos de descarga de aguas residuales deberán inscribirse en el Registro Público de Derechos de Agua
Artículo 134	Las personas físicas o morales que usen o aprovechen agua en cualquier uso o actividad están obligadas a prevenir su contaminación y reintegrarla en condiciones adecuadas a fin de permitir su uso en otras actividades y mantener el equilibrio en los ecosistemas
Artículo 136	Las personas que descarguen aguas residuales deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y Condiciones Particulares de Descarga correspondientes
Artículo 144	La toma y análisis de muestras deberá ajustarse a procedimientos establecidos en Normas Oficiales Mexicanas, o bien en Condiciones Particulares de Descarga o permisos de descarga de aguas residuales expedidos por la Comisión Nacional del Agua
Artículo 149	Se debe avisar a la Comisión Nacional del Agua sobre cualquier descarga fortuita
Artículo 151	Se prohíbe depositar en aguas nacionales desechos o residuos que por disolución o arrastre contaminen las aguas de cuerpos receptores

4.8.2 AIRE

A. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE  
(DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 28 de enero de 1988).

Título IV (Protección al Ambiente)

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 110 Fracción II	Las emisiones de contaminantes de la atmósfera deben ser reducidas y controladas.
Artículo 111 Fracción I y II	Se especificarán niveles permisibles de emisión e inmisión por contaminante y por fuente. La autoridad podrá requerir la instalación de equipos de control de emisiones.
Artículo 113	No podrán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente.

**B. REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 25 de noviembre de 1988)**

Capítulo 11 Artículo 16 al 27 en general y los siguientes en particular

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 16	Las emisiones no deberán exceder los niveles máximos permisibles de <u>emisión e inmisión</u> .
Artículo 17, fracciones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX	Los responsables de las fuentes fijas que emitan contaminantes deberán, emplear equipos que controlen las emisiones, integrar un inventario de emisiones, instalar plataformas y puertos de muestreo, medir sus emisiones contaminantes, llevar a cabo monitoreos perimetrales de sus emisiones, llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control, avisar el inicio de operaciones de sus procesos, de paros programados y de paros que puedan provocar contaminación, dar aviso de falla del equipo de control.
Artículo 18	Las fuentes fijas que puedan emitir contaminantes a la atmósfera requerirán de licencia de funcionamiento.
Artículo 19, fracciones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII.	El responsable de la fuente fija deberá entregar la siguiente información para la licencia de funcionamiento: datos generales, ubicación, descripción del proceso, distribución de maquinaria y equipo, materias primas y combustibles y forma de almacenamiento, transporte de materias primas y combustibles empleado en el proceso, transformación de materias primas o combustibles, productos, subproductos y desechos que vayan a generarse, almacenamiento, transporte y distribución de productos y subproductos, cantidad y naturaleza de los contaminantes a la atmósfera esperados, equipos para el control de la contaminación de la atmósfera, programas de contingencias cuando las condiciones meteorológicas sean desfavorables o cuando existan emisiones extraordinarias no controladas.
Artículo 21	El responsable deberá remitir en el mes de febrero de cada año una cédula de operación que contenga la información del Artículo 19.
Artículo 23	Las emisiones deben de canalizarse por ductos o chimeneas de descarga o justificar que esto no puede cumplirse por razones de índole técnica.
Artículo 24	Los ductos o chimeneas deberán tener a altura efectiva necesaria para dispersar los contaminantes.
Artículo 25	Las mediciones deberán de llevarse a cabo de acuerdo con los procedimientos de muestreo y cuantificación establecidos en las normas oficiales mexicanas.
Artículo 26	Se deberán de conservar en condiciones de seguridad las plataformas y puertos de muestreo y mantener calibrados los equipos de medición.

#### 4.8.3 RESIDUOS PELIGROSOS

#### A. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE

##### Titulo IV Protección al Ambiente

ARTICULO	DESCRIPCION
Articulo 152	Los materiales y residuos que se definan como peligrosos para el equilibrio ecológico deberán ser manejados con arreglo a las normas técnicas ecológicas y procedimientos que establezca la Secretaría de Desarrollo Social, con la participación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y de Agricultura y Recursos Hidráulicos

#### B. REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO DE PROTECCION AL AMBIENTE DE RESIDUOS PELIGROSOS

##### Capitulo 1 disposiciones generales

ARTICULO	DESCRIPCION
Articulo 5	El generador de residuos peligrosos será responsable del cumplimiento de las disposiciones del reglamento y de las normas técnicas ecológicas que de éste se deriven
Articulo 6	Con motivo de las actividades que generen residuos peligrosos, los generadores están obligados a determinar si éstos son peligrosos, conforme a las normas técnicas ecológicas correspondientes.

## Capítulo 2 De la generación de residuos peligrosos

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 8	El generador de los residuos peligrosos deberá
Fracción I	Inscribirse en el registro que para tal efecto establezca la Secretaría
Fracción II	Llevar una bitacora mensual sobre la generación de sus residuos peligrosos
Fracción III	Dar a los residuos peligrosos, el manejo previsto en el Reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes
Fracción III	Manejar separadamente los residuos peligrosos que sean incompatibles en los términos de las normas técnicas ecológicas respectivas
Fracción V	Envasar sus residuos peligrosos, en recipientes que reúnan las condiciones de seguridad previstas en este reglamento y en las normas técnicas ecológicas respectivas
Fracción VI	Identificar a los residuos peligrosos con las indicaciones previstas en este reglamento y en las normas técnicas ecológicas respectivas
Fracción VII	Identificar a sus residuos peligrosos en condiciones de seguridad y en áreas que reúnan los requisitos previstos en el presente reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes
Fracción VIII	Transportar sus residuos peligrosos en los vehículos que determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y bajo las condiciones previstas en este Reglamento y en las normas técnicas que correspondan
Fracción IX	Dar a sus residuos peligrosos el tratamiento que corresponda de acuerdo con lo dispuesto en el Reglamento y las normas técnicas ecológicas respectivas
Fracción X	Dar a sus residuos peligrosos la disposición final que corresponda de acuerdo con los métodos previstos en el reglamento conforme a lo dispuesto por las normas técnicas ecológicas aplicables
Fracción XI	Remitir a la Secretaría, en el formato que ésta determine, un informe semestral sobre los movimientos que hubiese efectuado con sus residuos peligrosos durante dicho periodo, y
Fracción XII	Las demás previstas en el Reglamento y en otras disposiciones aplicables

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Capítulo 3 Del manejo de los residuos peligrosos

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 15	Las áreas de almacenamiento deberán reunir como mínimo, las siguientes condiciones
Fracción I	Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materias primas o productos terminados.
Fracción II	Estar ubicadas en zonas donde se reduzcan los riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.
Artículo 21	Los movimientos de entrada y salida de residuos peligrosos del área de almacenamiento deberán quedar registrados en una bitácora que se debe indicar.
Artículo 23	Para transportar residuos peligrosos a cualquiera de las instalaciones de tratamiento o disposición final, el generador deberá adquirir de la Secretaría de Desarrollo Social, previo al pago de los derechos que correspondan por ese concepto, los formatos de manifiesto que requiera para el transporte de sus residuos.
Artículo 41	Cuando los productos de origen industrial o de uso farmacéutico en cuyos envases se precise fecha de caducidad, no sean sometidos a procesos de rehabilitación o generación una vez que hubieran caducado serán considerados residuos peligrosos, en cuyo caso los fabricantes y distribuidores de dichos productos serán responsables de que su manejo se efectúe de conformidad con lo dispuesto en el reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes

C. NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE RESIDUOS PELIGROSOS

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), menciona que en materia de residuos sólidos, el Artículo 5o., Fracción XIX establece que son asuntos de alcance federal la regulación de las actividades relacionadas con materiales o residuos peligrosos, en tanto que el Artículo 6o. Fracción XII y XIII indica que es competencia estatal y municipal la regulación de los residuos que no sean peligrosos, así como los del servicio de limpia, mercados, centrales de abastos, panteones y rastros respectivamente.



Por lo que el generador de residuos, deberá analizar, caracterizar y clasificar los residuos por manejar, tomando en cuenta las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CRP-001-ECOL/93, publicada el 22 de Octubre de 1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos llamado CRETIB, y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, y por la NOM-CRP-002-ECOL/93, publicada el mismo día, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, para que la autoridad pueda determinar si un residuo es o no peligroso.

Cabe aclarar que el día 29 de Noviembre de 1994, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el cambio de nomenclatura de las Normas NOM-CRP-001-ECOL/93 y NOM-002-ECOL/93, por NOM-052-ECOL-1993 y NOM 053-ECOL-1993, respectivamente.

Para el caso de residuos peligrosos, o sea aquellos que poseen alguna característica de la clave CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico Inflamable, Biológico-infeccioso), identificados mediante una clave y número asignados por el INE, o rebasan las concentraciones máximas permitidas establecidas en la NOM-052-ECOL-1993, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, establece en su Artículo 5o Fracción III, que serán responsables del cumplimiento de las disposiciones del reglamento y de las normas oficiales que de él se deriven, por lo que el generador de residuos peligrosos, se deberá someter a consideración de la Dirección General de Normatividad del Instituto Nacional de Ecología, sus tecnologías o procesos para su revisión y aprobación en su caso.

Por otra parte, el día 19 de Agosto de 1994, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1994, con entrada en vigor 40 días después de su publicación, aprobada en Junio de 1995 y presentada a la opinión pública el 10 de Agosto de 1995, que establece los Requisitos para la Clasificación, Separación, Envasado, Almacenamiento, Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de los Residuos Peligrosos Biológicos-Infecciosos que se Generen en Establecimientos que presten Atención Médica, Tales como Hospitales y Consultorios Médicos, así como Laboratorios Clínicos, Laboratorios de Reproducción de Biológicos, de Enseñanza y de Investigación, tanto humanos como veterinarios. Dicho proyecto de norma menciona en su inciso 7, la incineración como método de disposición final, y los parámetros que deben guardar los equipos de contaminación, tales como características y cantidades de contaminantes que deben emitir a la atmósfera. En la Tabla (4.10), se muestran las concentraciones máximas de contaminantes que debe emitir un equipo de incineración, según lo establece el proyecto NOM-087-ECOL-1994. Las respuestas a los comentarios y observaciones para dicha norma, se publicaron en el Diario Oficial del día 20 de Septiembre de 1995, finalmente, el día 7 de Noviembre de 1995, apareció publicada en el Diario Oficial de la Federación, esta Norma Oficial Mexicana, pero con su nueva nomenclatura, NOM-087-ECOL-1995, y su entrada en vigor, será 180 días después de su publicación.

TABLA 4 10  
NIVELES MAXIMOS DE EMISION A LA ATMOSFERA DE LOS EQUIPOS DE  
INCINERACION, SEGUN EL PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-087-ECOL-1994, SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL  
PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION DEL 19 DE AGOSTO DE 1994.

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES	PARA ZONAS CRITICAS mg/m <sup>3</sup> (*)	PARA EL RESTO DEL PAIS mg/m <sup>3</sup> (**)	FRECUENCIA DE LA MEDICION
PARTICULAS	30.0	100.0	SEMESTRAL
MONOXIDO DE CARBONO	100.0	100.0	SEMESTRAL
ACIDO CLORHIDRICO	50.0	75.0	SEMESTRAL
BIOXIDO DE AZUFRE (SOLO PARA CASOS EN QUE SE QUEME COMBUSTIBLE QUE CONTENGA AZUFRE)	100.0	100.0	SEMESTRAL
PLOMO	5.0	5.0	SEMESTRAL
CADMIO Y MERCURIO	0.2	0.2	SEMESTRAL
CROMO 6	0.5	0.5	SEMESTRAL
ARSENICO	0.5	0.5	SEMESTRAL
DIBENZODIOXINAS POLICLORADAS Y DIBENZOFURANOS POLICLORADOS	Cualquier cantidad que sea menor o igual a 0.5 ng/m <sup>3</sup>	Cualquier cantidad que sea menor o igual a 0.5 ng/m <sup>3</sup>	ANUAL

(\*) MEDICION HECHA CON 11% DE OXIGENO EN EXCESO, A 25°C DE TEMPERATURA, Y 1 ATMOSFERA DE PRESION (760 mm de mercurio).

(\*\*): ZONA CRITICA - Aquella en la que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de emisiones contaminantes a la atmosfera.

**4.8.4 SUELO Y RESIDUOS SOLIDOS**

**A. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE**

**Título IV Protección al Ambiente**

**Capítulo 3 Prevención y Control de la Contaminación del Suelo.**

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 134	<p>Para la prevención y contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es necesario racionalizar la generación de residuos sólidos municipales e industriales; e incorporar técnicas y procedimientos para reuso y reciclaje.</li> </ul>

#### 4.8.5 IMPACTO AMBIENTAL

#### A LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 8 de Enero de 1988)

ARTICULO	DESCRIPCION
Sección V Evaluación de Impacto ambiental. Artículo 28	La realización de obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas, emitidas por la federación para proteger el ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno federal.
Artículo 29	Corresponderá al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaria, evaluar el impacto ambiental a que se refiere el artículo anterior, particularmente a las siguientes materias:  I. Obra pública federal II. Obra hidráulica, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carboductos III. Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad IV. Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales, reservadas a la Federación. V. Desarrollos turísticos federales VI. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos refiere el artículo anterior, particularmente en las siguientes materias: VII. Aprovechamiento forestales de bosques y selvas tropicales y de especies de difícil regeneración

**B REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL**

(DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 7 Junio de 1988)

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 5	<p>Deberán contar con previa autorización de la Secretaría, en materia de impacto ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas, emitidas por la federación para proteger el ambiente, así como cumplir los requisitos que se les impongan particularmente las siguientes</p> <p>I. Obra pública federal, como la define la Ley de Obras Públicas y el Reglamento de la Ley de Obras Públicas, que se realice por administración directa o por contrato, con las siguientes excepciones:</p> <p>a) Construcción, instalación y demolición de bienes inmuebles en áreas urbanas.</p> <p>b) Conservación, reparación y mantenimiento de bienes inmuebles;</p> <p>c) Modificación de bienes inmuebles, cuando esta pretenda llevarse a cabo en la superficie del terreno ocupada por la instalación o construcción de que se trate</p> <p>II. Obras hidráulicas.</p> <p>III Vías generales de comunicación, únicamente en los siguientes casos:</p> <p>a) Puentes, escolleras, puertos, viaductos marítimos y rellenos para ganar terrenos al mar, actividades de dragado y bocas de intercomunicación lagunas marítimas;</p> <p>b) Trazo y tendido de líneas ferroviarias, incluyendo puentes ferroviarios para atravesar cuerpos de agua;</p> <p>c) Carreteras y puentes federales y</p> <p>d) Aeropuertos</p> <p>IV. Oleoductos, gasoductos y carboconductos.</p> <p>V. Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad</p>

	<p>VI. Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales, reservadas a la Federación con excepción de las actividades de prospección gravimétrica, geológica superficial, geoelectrica, magnetotelúrica de susceptibilidad magnetica y densidad</p> <p>VII. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos</p> <p>VIII. Desarrollos turísticos federales</p> <p>IX. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos radiactivos con la participación que corresponda a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal</p> <p>X. Aprovechamientos forestales de bosques y selvas tropicales y de especies de difícil regeneración</p> <p>XI. Obras o actividades que por su naturaleza y complejidad requieran de la participación de la Federación, a petición de las autoridades estatales o municipales correspondientes.</p> <p>XII. Actividades consideradas altamente riesgosas, en los términos del artículo 146 de la Ley.</p> <p>XIII. Cuando la obra o actividad que pretenda realizarse pueda afectar el equilibrio ecológico de dos o mas entidades federativas o de otros países o zonas de jurisdicción internacional.</p>
Artículo 6	<p>Para obtener la autorización a que se refiere el artículo anterior, el interesado, en forma previa a la realización de la obra o actividad de que se trate, deberá presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental.</p>
Artículo 7	<p>Quando quien pretenda realizar obras o actividades públicas de las que requieran autorización previa, considere que el impacto ambiental de dicha obra o actividad no causará desequilibrios ecológicos, ni rebasará los límites y condiciones, antes de dar inicio a la obra o actividad que se trate podrá presentar a la Secretaría un informe preventivo</p>

**C. INSTRUCTIVOS PARA EL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL (GACETA ECOLÓGICA, Volumen I, números 3 y 4, 1989)**

INSTRUCTIVO A QUE SE REFIERE EL ARTICULO 7 Y 8 DEL REGLAMENTO	Instructivo para la formulación del Informe Preventivo
INSTRUCTIVO A QUE SE REFIERE EL ARTICULO 9 Y 10 DEL REGLAMENTO	Instructivo para desarrollar y presentar la Manifestación de Impacto Ambiental en la Modalidad General
INSTRUCTIVO A QUE SE REFIERE EL ARTICULO 9, 10 Y 11 DEL REGLAMENTO	Instructivo para desarrollar y presentar la Manifestación de Impacto Ambiental en la Modalidad Intermedia
INSTRUCTIVO A QUE SE REFIERE EL ARTICULO 9, 10 Y 11 DEL REGLAMENTO	Instructivo para desarrollar y presentar la Manifestación de Impacto Ambiental en la Modalidad Especifica

Para poder obtener la autorización como prestador de servicios en el manejo de residuos peligrosos, la Dirección General de Normatividad Ambiental solicita la contestación de un formato denominado "MRP", así como la presentación del Manifiesto de Impacto Ambiental en su Modalidad General

Aunque el INE dio facilidad de presentar un Informe Preliminar de Riesgo, en sustitución del Estudio de Impacto Ambiental, a pequeños empresarios, o bien, ingresar en el Acuerdo para Liberar a Ciertas Actividades o Empresas del Trámite de Autorización de Impacto Ambiental en el Distrito Federal, así como acogerse al Acuerdo por el cual se simplifica el trámite de la Presentación de un Informe Preventivo, publicado en el Diario Oficial el 23 de Octubre de 1995, la instalación y puesta en marcha de un equipo de incineración, requiere forzosamente de una serie de permisos y trámites, y no se exime de la presentación del Manifiesto de Impacto Ambiental ante las autoridades en la materia.

Así mismo, habrán de entregarse los registros para el control de emisiones a la atmósfera, para el caso que nos ocupa se deberá entregar también una solicitud contestada del registro de descargas de aguas residuales, de igual forma, las autoridades correspondientes habrán de solicitar una serie de gestiones y trámites, como son: Permisos de Obra, Registro Federal de Contribuyentes, Declaración de Apertura ante la Secretaría de Salud y ante el Registro Municipal, Aviso de Manifestación Estadística, Visto Bueno de Prevención de Incendios, Licencia de Funcionamiento, Alta ante la Cámara, etc. .

En la Tabla (4.11), se presenta un resumen de la información preliminar que debe presentar una empresa para evaluar la autorización de instalación y operación de un incinerador en la República Mexicana

**TABLA 4.11 INFORMACIÓN PRELIMINAR QUE DEBE PRESENTAR UNA EMPRESA PARA EVALUAR LA AUTORIZACION Y OPERACION DE INFRAESTRUCTURA PARA RESIDUOS PELIGROSOS<sup>7</sup>**

REQUISITO	ESPECIFICACION	MARCO LEGAL
Carta intención a la Dirección General de Normatividad Ambiental	Indicando el alcance del estudio; así como el tipo de residuo, instalación, área geográfica de influencia y tipo de administración	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Artículo 5 Fracción XIX y Artículo 6 Fracción XII y XIII
Plan rector del uso del suelo	Remitir copia actualizada de la autorización de uso del suelo otorgada por el gobierno estatal y/o municipal.	Ley de obras públicas.
Cumplir con el manifiesto de impacto ambiental	Enviar copia de la resolución de la evaluación del impacto ambiental.	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Artículos 28, 29, 31, 32, 33, y 34.
Cumplir con el estudio de actividades altamente riesgosas	Remitir copia del dictamen que incluya la determinación de los usos del suelo de acuerdo a la actividad altamente riesgosa a desarrollar.	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Artículos 145, 146, 147, 148, y 149.
Obtener la autorización previa del sitio para la instalación y construcción de la infraestructura	Oficio de la Dirección General de Normatividad Ambiental, aprobado el sitio.	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Artículo 145.
Presentar el proyecto ejecutivo de la instalación para su revisión y autorización	Remitir los estudios de, procesos, diagramas, planos, especificaciones, guías mecánicas, memorias de calculo, así como diseños y manuales de operación; tomando en cuenta las normas técnicas vigentes o los términos de referencia respectivos y debidamente completados con los planos, cortes y	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Artículo 8 Fracción XI; y Artículo 9 apartado "A" Fracción IX .



	detalles a escala de cada una de las partes integrantes del proyecto	
Obtener los registros de descargas de aguas residuales	De acuerdo a las condiciones particulares de descarga, fijadas por los gobiernos federales estatales y municipales o la comisión nacional del agua	Reglamento de prevención y control de la contaminación del agua.
Presentar pruebas de funcionamiento	Realizar pruebas de funcionamiento para establecer condiciones, especificaciones y eficiencia en la operación de las instalaciones	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos Artículo 10.
Obtener los registros para el control de emisiones a la atmósfera	Cumplir con las disposiciones, tales como inventarios y registros de emisiones	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos.
Obtener la autorización de funcionamiento en materia de contaminación ambiental de la Dirección General de Normatividad Ambiental	Acatar las condiciones fijadas en la autorización del funcionamiento correspondiente	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Artículo 145
Presentar los manifiestos para empresas generadoras de residuos peligrosos	Cumplir con el llenado de los formatos de acuerdo a los servicios que prestara la empresa	Reglamento de la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente en materia de residuos peligrosos Artículo 8 Fracción XI.

<sup>F</sup> Cortesía: De la Subdirección de Residuos Peligrosos del I.N.E. .

De resultar aprobada la instalación del equipo de incineración, periódicamente se deberán de reportar a la Dirección General de Residuos Materiales y Riesgo, del I.N.E., la siguiente información:

- o La cantidad de residuos a incinerar expresados en toneladas, caracterización de los mismos, y tiempo en que se llevará a cabo la incineración.
- o Los resultados de los muestreos isocinéticos de emisiones a la atmósfera, expresados en mg/m<sup>3</sup>.

- o Medidas y acciones para controlar cualquier contingencia derivada de situaciones de fuga, derrame e incendios durante en manejo de los residuos.
- o Análisis de las cenizas, según la clave CRETIB.

Todo lo anterior debe efectuarse para cumplir con lo dispuesto en el Artículo 29, Fracción VI, de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en Materia de Impacto Ambiental, el cual establece que el Gobierno Federal evaluará a las instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos

En otro orden de ideas, la cremación de cadáveres humanos es un tema bastante extenso, y que debe considerarse apartado de la incineración de residuos sólidos, dado que los hornos crematorios exclusivos para cadáveres jamás deben de utilizarse para residuos sólidos, por la problemática que implicaría el manejo posterior de las cenizas. Por lo general los hornos crematorios para cadáveres, se instalan dentro de los cementerios

La legislación que rige a los hornos crematorios es muy compleja, pues implica lineamientos del orden civil y social, aunque en su instalación y operación deben de observar los parámetros de la legislación ambiental. Como información del marco legal, para este tipo de cremación, existe el Reglamento de Cementerios del Distrito Federal, expedido por la Presidencia de la República el día 28 de Diciembre de 1984, y en sus Artículos 1 y 52, menciona la legalidad de cremar cadáveres humanos dentro de los cementerios del Distrito Federal

## 4.9 SALUD AMBIENTAL

## A. LEY GENERAL DE SALUD

## Ley General de Salud

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 122	Queda prohibida la descarga de aguas residuales sin el tratamiento para satisfacer los criterios sanitarios emitidos de acuerdo con la fracción III del Artículo 118, así como de residuos peligrosos que conlleven riesgos para la salud pública a cuerpos de agua que se destinan para uso o consumo humano.
Artículo 126	En el caso que en la empresa se utilicen fuentes de radiación para fines industriales, deberá observar las normas de seguridad radiológica emitidas por la SSA.
Artículo 128	Las actividades de la empresa se ajustarán a las normas de protección a la salud emitidas por la SSA.
Artículo 131	La Secretaría de Salud llevará los programas tendientes a prevenir accidentes y enfermedades del trabajo.
Artículo 146	La empresa que maneje agentes patógenos estarán sujetos a control por parte de las autoridades sanitarias en materia de protección higiénica.
Artículo 198	Si en la empresa se procesan medicamentos, plaguicidas, fertilizantes, fuentes de radiación y sustancias tóxicas o peligrosas deberá contar con la autorización sanitaria al respecto.
Artículo 204	En el caso que la empresa venda o suministre medicamentos y otros insumos para la salud, estupefacientes, sustancias psicotrópicas y productos que los contengan, así como plaguicidas, fertilizantes o sustancias tóxicas contarán con la autorización sanitaria correspondiente.
Artículo 258	En el caso que la empresa esté destinada al proceso de medicamentos deberá contar con la Licencia Sanitaria correspondiente.
Artículo 260	En el caso que la empresa esté destinada al proceso de medicamentos, el responsable debe ser un profesional con título como lo estipula la LGS.
Artículo 280	Durante el proceso, uso o aplicación de plaguicidas, fertilizantes o sustancias tóxicas, se evitará el contacto y la proximidad de los mismos con alimentos y otros objetos cuyo empleo, una vez contaminados represente un riesgo para la salud humana.
Artículo 281	Las etiquetas de los envases de plaguicidas, fertilizantes, y demás sustancias tóxicas, en lo conducente deberán ostentar claramente la leyenda sobre los peligros que implica su manejo, conforme a las normas correspondientes.

(Continuación de la anterior)

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 283	En el caso que en la empresa se importen o exporten plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, se deben aplicar las medidas de control sanitario estipuladas por las autoridades sanitarias correspondientes.

B. LEY DE SALUD PARA EL DISTRITO FEDERAL

ARTICULO	DESCRIPCION
Artículo 22	En el caso de establecimientos industriales ubicados en el D.F., se deberá contar con la autorización sanitaria por parte de las autoridades del D.F., según lo establece la Ley de Salud del D.F.

**C. REGLAMENTO DE LEY GENERAL DE SALUD EN MATERIA DE CONTROL SANITARIO DE ACTIVIDADES, ESTABLECIMIENTOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS.**

ARTICULO	DESCRIPCION
62	Todo establecimiento requiere de licencia sanitaria expedida por la SSA excepto cuando el giro correspondiente haya quedado exento de este requisito
68	Los establecimientos estarán provistos de agua potable, en cantidad y presión suficiente para satisfacer las necesidades del proceso de los productos y realización de actividades y prestación de servicios; así mismo, los depósitos y equipos de bombeo deben reunir los requisitos sanitarios estipulados en norma respectiva
69	El agua no potable que se utilice para producción de vapor, refrigeración y otros propósitos similares no relacionados con productos destinados a uso o consumo humano deberán transportarse por tuberías completamente separadas e identificadas por colores, de conformidad con la norma
	En el caso que en la empresa se rehuse el agua residual, ¿Esta se trata y se mantiene en condiciones tales que su uso no presente un riesgo para la salud?
	En el caso que en la empresa se rehuse el agua residual, ¿Se cuenta con un sistema separado de distribución que se identifique fácilmente?
70	En el caso que en la empresa se rehuse el agua residual, ¿Se toman las medidas para que esta no tenga contacto con el ser humano, ni con la materia prima o productos en cualquiera de las fases del proceso?
	Los establecimientos dispondrán de un sistema de descarga de aguas servidas y pluviales, el cual deberá mantenerse en buen estado de conservación y funcionamiento
	Los conductos de desagüe o albañales estarán contruidos para resistir las descargas a las que están sujetos albañales deberán estar conectados a los servicios públicos de alcantarillado y en su defecto, será necesario que cuenten con fosa septica y pozo de absorción o campo de subirrigación, siempre y cuando no se afecte ningún acuífero para consumo humano

(Continuación del inciso C de la pagina 93)

ARTICULO	DESCRIPCION
71	<p>La empresa cumplirá con el requisito que todos los elementos de la construcción expuestos al exterior son resistentes al medio ambiente, al uso normal y a prueba de roedores.</p> <p>En su caso, deberá contar con almacenes que garanticen la temperatura adecuada para la preservación de los productos y con áreas separadas de almacenamiento por línea de producción, a fin de evitar la alteración, contaminación o adulteración de los productos.</p>
	<p>Las cisternas, tanques y demás depósitos de agua deberán estar revestidos de material impermeable y con sus sistemas de protección adecuados, para impedir su contaminación.</p>
72	<p>En los establecimientos donde existan variaciones de temperatura, ruido, vibraciones, radiaciones o cualquier otra situación que pueda dañar la salud humana, etc. La empresa deberá proporcionar la vestimenta y protección apropiada y debe tener instalados en el inmueble los sistemas de control sanitario que se requieran.</p>
73	<p>El establecimiento deberá estar provisto de iluminación natural suficiente o artificial y de ventilación que garanticen el cumplimiento de las disposiciones vigentes.</p>
74	<p>En el caso que en el establecimiento se realicen actividades que resulten molestas o dañinas para la salud, ¿Se han hecho las adecuaciones necesarias para cumplir con lo dispuesto en las normas respectivas?</p>
75	<p>Se deberán adaptar las medidas necesarias para el control de fauna nociva.</p>
76	<p>Todos los aparatos que producen humo, gas o cualquier otra sustancia proveniente de la combustión deberá contar con dispositivos para su captación y control y estarán construidos y colocados de manera que evite el peligro de intoxicación.</p>
77	<p>Se debe cuidar que el centro de trabajo esté conservado, aseado, en buen estado y con el mantenimiento apropiado, así también, que el equipo y utensilios sean los adecuados para la actividad que se realice.</p>
78	<p>El vestuario deberá cumplir con los requisitos especificados en la Licencia sanitaria.</p>
79	<p>Las instalaciones sanitarias deberán ser adecuadas tal que aseguren la higiene en el desarrollo de las actividades y el proceso de los productos que se manejen, según se establece en las normas e instructivos respectivos.</p>

(Continuación del inciso C de la página 93)

ARTICULO	DESCRIPCION
80	En los establecimientos en donde se manipulen alimentos o bebidas deberán existir instalaciones para el aseo de manos, limpieza y desinfección de útiles y equipo de trabajo, construidas con materiales resistentes a la corrosión y que puedan fácilmente limpiarse.
81	Los materiales, el equipo y los utensilios que se emplean en la fabricación de productos, en su caso, no deberán contener sustancias tóxicas, olores o sabores desagradables y ser inocuos y resistentes a la corrosión.
82	Los establecimientos que se dediquen al proceso de productos contarán con una zona destinada exclusivamente para el depósito temporal de desechos y se deben colocar en recipientes que cumplan con la norma respectiva.
83	Cuando por las actividades que se realicen en algún establecimiento deba existir un sistema de refrigeración y congelación, este deberá estar provisto de termómetro o dispositivo de registro de temperatura que funcione adecuadamente.
84	En el área de procesamiento de alimentos, solo podrán aplicar los plaguicidas autorizados.
86	En el caso de empresas donde se almacene o distribuya gas LP, natural y otros gases industriales y se hubieron hecho modificaciones al establecimiento deberá contar con la autorización previa de la SSA.
88	En el caso de empresas donde se elaboren, fabriquen o sinteticen sustancias tóxicas, y se hubieron hecho modificaciones al establecimiento, deberá contar con la autorización previa de la SSA.
88	En el caso que existan en la empresa vehículos destinados al transporte de gas LP y otros gases peligrosos, sustancias tóxicas o fuentes de radiación, deberán contar con la licencia sanitaria respectiva.
102	El responsable de los establecimientos destinados al proceso de plaguicidas, fertilizantes o sustancias tóxicas, de los transportes o sitios de disposición final deberán notificar inmediatamente a la autoridad sanitaria de cualquier irregularidad o accidente, que ocurran en las instalaciones o equipos, que de o pueda dar lugar a escapes de productos y sustancias.
146	La empresa debe contar con el permiso sanitario para el proceso y aplicación de sustancias tóxicas.
	Si es el caso, la empresa deberá contar con el permiso sanitario para la comercialización de desechos que aún conserven principios tóxicos.
	Si es el caso, la empresa contará con el permiso sanitario para el personal expuesto a sustancias tóxicas.

(Continuación del inciso C de la página 93)

ARTICULO	DESCRIPCION
149	La empresa debe contar con los permisos sanitarios correspondientes a la importación de los equipos, productos y materias primas.
160	¿Se usa o importa algún producto que haya sido prohibido en otros países o en su país de origen?
1218	Si en la empresa existen procesos de sustancias tóxicas, ¿Se observan en la empresa las normas emitidas por la SSA en los establecimientos, transportes y disposición final?
1220	La empresa deberá cumplir con los límites máximos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto y la población en general, establecidos por la SSA.
1220	La empresa deberá cumplir con las condiciones y límites máximos de exposición en casos de situaciones de emergencia, establecidos por la SSA.
1220	La empresa deberá cumplir con los límites máximos permisibles en sustancias, materias primas y productos, de uso y consumo humano, establecidos por la SSA.
	La empresa deberá cumplir con los métodos de muestreo y análisis en el aire, agua y suelo establecidos por la SSA.
	La empresa deberá cumplir con los métodos de medición y dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto, establecidos por la SSA.
	La empresa deberá cumplir con las características y requisitos sanitarios de los equipos de protección personal, establecidos por la SSA.
	La empresa deberá cumplir con los requisitos y la periodicidad de los exámenes médicos a los que deba someterse el personal ocupacionalmente expuesto, establecidos por la SSA.
1221	La empresa deberá cumplir con los procedimientos y requisitos de descontaminación de sitios contaminados por sustancias peligrosas, establecidos por la SSA para la protección de la salud humana.
	La empresa deberá cumplir con los requisitos sanitarios para el embalaje, envase, almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas, establecidos por la SSA para la protección de la salud humana.
	La empresa deberá cumplir con los requisitos sanitarios para la recolección, transporte y disposición final de envases, desechos y residuos de sustancias peligrosas, establecidos por la SSA para la protección de la salud humana.



(Continuación del inciso C de la página 93)

ARTICULO	DESCRIPCION
1222 y 1223	La empresa deberá cumplir con las disposiciones de etiquetado de los envases de productos y sustancias tóxicas correspondientes
1224 y 1225	En el caso que en la empresa se tengan procesos y aplicación de sustancias tóxicas, la empresa practicará las determinaciones de la concentración de los mismos en sus emisiones de aire, agua y suelo, con la periodicidad y método determinado por la SSA.
1226	En el caso que en la empresa se tengan procesos y aplicación de sustancias tóxicas. La empresa someterá al personal ocupacionalmente expuesto a los exámenes que determine la SSA y con la periodicidad que la misma establezca.
1227	En el caso que en la empresa se tengan procesos y aplicación de sustancias tóxicas. La empresa proporcionará al personal ocupacionalmente expuesto el equipo de protección individual determinado por la SSA.
1228	En el caso que en la empresa se apliquen sustancias tóxicas, la empresa hará estas operaciones de conformidad a las normas determinadas por la SSA.
1231	En el caso que la empresa utilice recipientes para contener sustancias tóxicas. ¿Evita que dichos envases sean utilizados posteriormente para contener productos destinados al consumo humano directo o indirecto?
1232	A los productos que contengan sustancias tóxicas, que por sus características físicas pudieran confundirse con otros productos de consumo humano, deberán agregar un colorante para su identificación de la tonalidad indicada por la SSA.
1234	En el caso de que exista almacenamiento temporal de sustancias o productos tóxicos, se deberá contar con la autorización expedida por la SSA y la SEDESOL, según la norma correspondiente.

(Continuación del inciso C de la página 93)

ARTICULO	DESCRIPCION
1235	En lo relativo a los productos y sustancias tóxicas, la empresa deberá evitar que se rebasen los límites de concentración máxima permisible en aire, agua, suelo y alimentos, así como los límites máximos de exposición de las personas.
	En lo relativo a los productos y sustancias tóxicas, la empresa evitará que su transporte con propósitos industriales o comerciales se haga junto con alimentos, bebidas, medicamentos o vestuario o con utensilios destinados a almacenar o producir alimentos, y en general, con cualquier producto que se destine para uso o consumo humano.
	En lo relativo a los productos y sustancias tóxicas, la empresa evitará que su transporte con propósitos industriales o comerciales se haga junto con alimentos para animales domésticos.
	En lo relativo a los productos y sustancias tóxicas, la empresa evitará que su venta a granel y su envase, almacenamiento o transporte se haga en recipientes abiertos, deteriorados, inseguros, desprovistos de rotulos, sin etiquetas o con indicaciones ilegibles, o en envases que se destinen a contener productos de consumo humano.
	En lo relativo a los productos y sustancias tóxicas, la empresa evitará que su transporte con propósitos industriales o comerciales se haga cuando no posean embalajes adecuados para la protección de la salud humana durante su manejo.

El día 24 de Noviembre de 1995 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, el proyecto de Norma NOM-059-SSA-1995/1, de la Secretaría de Salud en el cual se indican los lineamientos que deben de seguir las instituciones y laboratorios biológicos, farmacéuticos, mencionándose la incineración, como medida alterna para la disposición final de los residuos sólidos que se generen.

# 5 ESTUDIO TECNICO

## 5.1 EL PROCESO DE LA INCINERACION COMO ELIMINADOR DE RESIDUOS SOLIDOS

La incineración es el proceso por el cual se reducen la masa y el volumen de un cuerpo combustible, generalmente de desecho, hasta convertirlo en cenizas, mediante la acción directa del fuego (descomposición térmica), el cual lo oxida y degrada. Este proceso debe realizarse en lugares controlados y expresamente destinados para ello, sin que se presenten daños al ambiente o a la salud poblacional. El equipo donde se lleva a cabo dicho proceso controlado se denomina incinerador.

El proceso de incineración de los residuos sólidos es mucho más complicado que prender fuego a un montón de basura, y se le ha utilizado para eliminar desechos combustibles provenientes de la industria, el comercio y de actividades dedicadas al cuidado de la salud pública.

Así mismo existe un proceso especial de incineración, consistente en la reducción a cenizas de los cadáveres humanos o de animales, así como la eliminación de residuos biológicos sólidos con altos contenidos de humedad, llamados patológicos, y que son producto de cirugías, autopsias, amputaciones, curaciones, etc., provenientes de centros dedicados al cuidado de la salud humana, estos desechos también pueden provenir de locales sanitarios de crianza y sacrificio de animales, cuya carne u otros productos estén destinados para el consumo humano. A este proceso especial de incineración se le denomina cremación, y se realiza en crematorios.

Un incinerador de residuos, es una instalación o aparato, casi siempre cerrado, destinado a la conversión a cenizas de los residuos sólidos. Por lo general tienen una cámara cuyas medidas pueden variar mucho en su anchura y longitud, pero muy poco en su altura. Sus techos se elaboran de forma plana, excepto los de los crematorios, y tienen un sistema de inyección de aire continuo por tiro natural, mediante uno o varios conos, ubicados en los costados del equipo, con el fin de enriquecer con oxígeno, el aire de la cámara de combustión. Pueden o no tener cámara de postcombustión. La combustión de los residuos es prácticamente inmediata, por ser residuos con un alto poder calorífico y sumamente inflamables.

Entre los principales beneficios de este proceso, está la eliminación de los elementos tóxicos presentes en los residuos peligrosos, al destruir los compuestos orgánicos contenidos en los residuos, así como la reducción del volumen de los mismos, amen de convertirlos en sólidos al vaporizar el agua y los demás líquidos que puedan contener los compuestos orgánicos, que son quemados en un alto rango de temperaturas

Algunos compuestos orgánicos, incluyendo los encontrados en ciertos residuos peligrosos, se queman con mas dificultad y deben ser sometidos a temperaturas más altas. Como consecuencia, los incineradores de residuos deben mantener temperaturas extremadamente altas para asegurar que virtualmente todos los compuestos orgánicos en los residuos sean destruidos. Sin embargo, la incineración no destruye los compuestos inorgánicos, tales como sales o metales, y tampoco los compuestos de carbon carentes de hidrógeno, tales como monóxido de carbono y dióxido de carbono. Este proceso térmico puede ser usado para que los residuos que contengan materiales inorgánicos sean preparados para su disposición final, o bien para un manejo con menos riesgos

La incineración implica el cumplimiento de las siguientes etapas:

**Etapas 1.** Los residuos son alimentados al incinerador

**Etapas 2.** Los residuos son incinerados o quemados, destruyendo sus compuestos orgánicos, generando productos residuales en forma de cenizas y gases.

**Etapas 3.** La ceniza es recolectada, enfriada y removida del incinerador.

**Etapas 4.** Los gases se enfrían, se limpian, y se liberan a la atmósfera a través de la chimenea o tiro del incinerador.

El equipo específico usado para cada una de las etapas mencionadas, depende del tipo del incinerador y de las características físicas o químicas de los residuos para los cuales el incinerador se ha diseñado. En algunos sistemas, los residuos son precalentados antes de que entren a la cámara de combustión en donde se registran temperaturas más altas.

Los residuos son quemados en la cámara de combustión, la cual es parecida a una estufa que contiene un quemador, el cual está diseñado para retener y mantener temperaturas extremadamente altas. En el momento en que los residuos son calentados, éstos se convierten en gases. Los gases son mezclados con aire y pasados a través de flamas extremadamente calientes. En cuanto la temperatura de los gases se eleva, los compuestos orgánicos comienzan a descomponerse en átomos. Estos átomos se recombinan con el oxígeno del aire para formar compuestos inorgánicos estables, tales como dióxido de carbono y agua. Dependiendo de la composición de los residuos, otros componentes inorgánicos tales como ácido clorhídrico (HCL) se pueden producir. A esta acción se le llama combustión.

Las temperaturas en las cámaras de combustión varían, pero están generalmente en el rango de 900°C a 1400°C, temperaturas superiores a este rango, son necesarias para descomponer compuestos orgánicos difíciles de quemar. Los residuos son generalmente mantenidos a tales temperaturas por varios segundos. En muchos incineradores, la combustión ocurre en dos cámaras. La combustión de los residuos orgánicos fáciles de quemar se efectúa en la primera cámara. Para los compuestos que son más difíciles de quemar, la combustión se completa en la segunda cámara, después de que estos han sido convertidos en gases y parcialmente quemados en la primera cámara.

## 5.2 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA INCINERACION

Los tres factores que influyen en la combustión de los residuos, son:

- 1) La temperatura de operación de la combustión.
- 2) El tiempo de residencia de los residuos dentro de la cámara de combustión.
- 3) La turbulencia o grado de mezclado de los residuos con el aire (un factor importante y determinante es la disponibilidad de oxígeno durante el quemado). Garantizar o asegurar que estos factores juntos, fomenten virtualmente una combustión completa.

Ahora bien, como ya se comentó, se puede decir que los sistemas de incineración están diseñados para destruir solamente residuos orgánicos, sin embargo, muchos de los residuos incinerados también contienen sustancias orgánicas no combustibles, la destrucción de fracción orgánica es convertida a dióxido de carbono y vapor de agua, así mismo la incineración reduce el volumen de los residuos. La extinción de los componentes orgánicos, incluye sustancias tóxicas que constituyen una amenaza para la salud y el medio ambiente.

Los residuos a incinerar, se presentan como líquidos, sólidos y en ambas formas. Los sistemas comerciales de incineración de residuos peligrosos manejan una amplia gama de residuos, no obstante muchos de los incineradores son específicos para residuos líquidos.

La incineración es un proceso simple cuando esta visto de manera superficial. Los compuestos orgánicos están asociados con aquellos que contienen carbono, hidrógeno y algunas veces oxígeno, con la posible presencia de metales y no metales como son halógenos y nitrógeno. Esto hace a la química de la combustión fácil de descifrar. Desafortunadamente, esta química, se aplica al caso en el que las reacciones sean completas, pero en la combustión frecuentemente no es así.

Quando la combustión es completa, existe una buena oxidación de componentes orgánicos (carbono e hidrogeno), para lograr esto se requiere de una mezcla adecuada del aire (contiene solamente 21% de oxígeno por volumen) con el carbono e hidrogeno del combustible (residuo), para obtener un producto estequiométrico de dióxido de carbono y agua. Sin embargo, el aire también contiene 79% de nitrógeno, el cual es inerte, por lo que se mantiene constante durante todo el proceso de combustión.

Un sistema completamente homogéneo (reactor bien agitado) requiere a su vez de tiempo y turbulencia para oxidar completamente el carbono e hidrogeno, lo cual ocurre a una temperatura determinada. Así las tres "T's" de la combustión afectan la reacción. La disminución de uno de estos factores debe de compensarse con los otros dos para lograr la combustión completa, por esta razón pocas reacciones de combustión son completas a su mínima temperatura y aire teórico.

### **5.3 SUBPRODUCTOS GENERADOS POR LA INCINERACION**

De la combustión, se generan dos productos residuales: gases y sólidos en forma de ceniza. Los gases de la combustión están compuestos principalmente de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), de pequeñas cantidades de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), y de otros gases que dependen de la composición de los residuos. La ceniza es un material inorgánico inerte que está hecho de carbon, sales y metales, su exacta composición, como la de los gases, depende del tipo de residuos a incinerar. Durante la combustión, la mayoría de la ceniza se coloca en el fondo de la cámara de combustión, sin embargo, una fracción de ella es llevada junto con los gases en forma de pequeñas partículas. Diferentes tipos de residuos producen diferentes tipos y cantidades de ceniza. La incineración de líquidos produce normalmente muy pequeñas cantidades de ceniza. La incineración de residuos sólidos, produce mayores cantidades de ceniza, normalmente del 10 al 30 por ciento de la cantidad original del residuo.

La ceniza es esperada o removida desde el fondo de la cámara de combustión y, en ocasiones, puede contener elementos peligrosos.

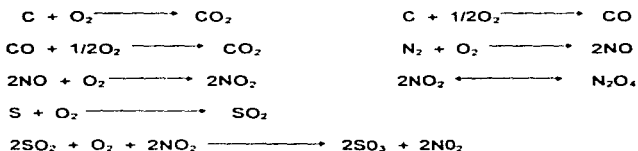
Los gases se mueven a través de varios dispositivos que enfrían y limpian los gases antes de que sean liberados a la atmósfera, a través de la chimenea del incinerador. Normalmente se emplean ventiladores para mantener el flujo de gases a través del sistema. Los implementos o equipos empleados, depende del incinerador y de los tipos de residuos a incinerar.

Por otro lado, dentro de las emisiones a la atmósfera, también puede haber presencia de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) así como de dibenzofuranos y dibenzodioxinas, siempre y cuando los residuos contengan compuestos clorados. Estos últimos compuestos, representan un grave peligro para la salud humana, pues se depositan en los tejidos grasos del cuerpo, provocando enfermedades tales como el cloroacné, dermatitis, y en ocasiones cáncer de piel.

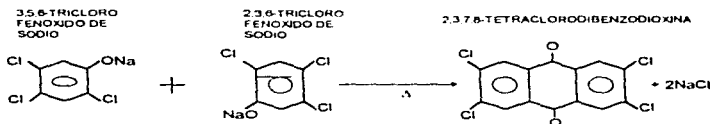
Las dibenzodioxinas policloradas y los dibenzofuranos policlorados, son productos de una reacción incompleta entre fenoxidos de sodio policlorados y el tricloro fenol. Estos compuestos deben su carácter tan temido, a los efectos toxicos que causó sobre el ambiente una fuga accidental de 2,3,7,8, Tetraclorodibenzodioxina de una planta productora de Triclorofenol, en Seveso, Italia, en julio de 1976. También, estos compuestos toxicos causaron la muerte de muchas aves de los bosques suizos, principalmente búhos y lechuzas en febrero de 1990, como consecuencia de un incinerador ubicado en las afueras de la ciudad de Basilea que destruía de manera incompleta Cloruro de Polivinilo, Askareles y Bifenilos, los cuales por oxidación son los generadores principales de dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados. Las temperaturas de destrucción de los Askareles y Bifenilos, así como de los compuestos halogenados, deberán de ser superiores a los 1300°C, para lo cual se requiere un incinerador industrial de gran capacidad de destrucción, y que además cuente con avanzados sistemas de control de emisiones. En la Tabla (5.1), se presentan las reacciones principales de generación de contaminantes, en equipos de combustión.

TABLA 5.1 CONTAMINANTES GENERADOS DURANTE LA COMBUSTION DE RESIDUOS\*

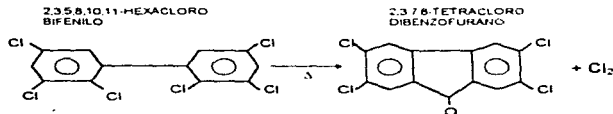
REACCIONES MAS COMUNES DURANTE LA COMBUSTION DE RESIDUOS SOLIDOS



REACCION MAS COMUN DE OBTENCION DE DIBENZODIOXINAS POLICLORADAS



REACCION MAS COMUN DE OBTENCION DE DIBENZOFURANOS POLICLORADOS



\* Fuente: DISEÑO TECNICO AMBIENTAL PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL EDO. DE MÉXICO. FRANCISCO JAVIER VASALLO MARIN. Año 1995. (Tesis).



Los gases emitidos por el incinerador, están formados por compuestos inorgánicos como el bióxido de carbono y agua. El tipo y la cantidad de otros compuestos, depende de la composición de los residuos, de la completa seguridad del proceso de combustión y del equipo para el control de la contaminación del aire. Tales compuestos, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) **Compuestos orgánicos derivados del residuo original** - Todo incinerador bien diseñado y operado adecuadamente, es altamente eficiente, y podría quemar casi todo, dejando una pequeña cantidad de residuos. Los compuestos orgánicos que no son combustibles son llevados a través de los gases generados en la cámara de combustión. Estos gases orgánicos no quemados son removidos por el equipo de control de la contaminación en la parte final del incinerador.
- b) **Compuestos inorgánicos derivados del residuo original** - Los compuestos inorgánicos, tales como sales y metales no combustibles, terminan en el fondo de la cámara de combustión incorporados en las cenizas o en los gases de la combustión, dependiendo principalmente de su peso. Estos compuestos inorgánicos, generalmente están contenidos o adheridos a partículas esféricas. Los equipos para el control de la contaminación atmosférica, normalmente se emplean para remover principalmente, este tipo de compuestos.
- c) **Compuestos orgánicos no presentes en los residuos peligrosos** - Debido a que la combustión en un incinerador no es 100% eficiente, pequeñas cantidades de nuevos compuestos orgánicos, pueden formarse por la separación y la recombinación de los compuestos originales. Estos compuestos, que son llamados productos de la combustión incompleta, se forma durante la combustión de cualquier material orgánico. El proceso de combustión, puede generar pequeñas cantidades de diferentes tipos de compuestos representativos de una combustión incompleta, considerados tóxicos, incluyendo las dioxinas y los dibenzofuranos.

En los incineradores modernos la formación de productos típicos de una combustión incompleta, se minimiza al mantener los productos al inicio de la combustión a altas temperaturas y por un lapso de tiempo apropiado. Los productos de una combustión incompleta son destruidos por la alta temperatura mantenida en la zona de combustión o en la cámara de combustión secundaria. Los equipos para el control de la contaminación también pueden remover los productos de una combustión incompleta.

- d) **Compuestos inorgánicos no presentes en el residuo original** - Además del bióxido de carbono y agua, la combustión produce pequeñas cantidades de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (de la combinación de oxígeno y nitrógeno en el aire). La combustión de compuestos orgánicos complejos (incluyendo muchos residuos peligrosos), pueden formar otros compuestos inorgánicos, dependiendo de como son quemados. Muchos residuos peligrosos contienen compuestos organoclorados, azufre o nitrógeno orgánico combinado. La combustión de estos compuestos producen ácido clorhídrico, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno respectivamente.

#### 5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE INCINERACION

##### 5.4.1 VENTAJAS

- 1) Son efectivos para una variedad de contaminantes. Pueden incinerar una gran variedad de residuos (líquidos, sólidos y lodos), independientemente o combinados.
- 2) Pueden alcanzar una alta eficiencia de remoción, hasta de 99.99% o más.
- 3) Generan calor y gases fáciles de recuperar.
- 4) Destruyen contaminantes con producción de productos terminales primarios  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Sin embargo, los gases ácidos son también productos terminales, cuando los residuos son halogenados, sulfonados, nitrados o contienen compuestos de fósforo.
- 5) Generalmente, son capaces de reunir los requerimientos de la disposición final, ya que los productos terminales de la incineración (gases y ceniza) están en la mayoría de los casos estabilizados.
- 6) Reduce el volumen de los residuos, sobre todo cuando los residuos contienen altas concentraciones de orgánicos.
- 7) En algunos procesos se puede recuperar el valor económico de los residuos. Como es el caso del tratamiento de los residuos tratados por horno de plasma, es posible reciclar metales como: titanio, aluminio, metales preciosos, zinc, níquel, etc.

##### 5.4.2 DESVENTAJAS

- 1) El alto contenido de humedad puede afectar los requerimientos de energía.
- 2) Elevados niveles de compuestos orgánicos halogenados generan gases ácidos que pueden atacar material refractario y/o impactar las emisiones de combustión a la atmósfera.
- 3) Los metales tóxicos puros como óxidos, hidróxidos o sales que volatilizan a altas temperaturas (como cadmio, arsénico, mercurio, plomo, estaño y plata) pueden vaporizar durante la incineración y son difíciles de remover usando el equipo de control convencional. Adicionalmente, elementos como el cromo trivalente puede ser oxidado a un estado de valencia más tóxico en sistemas de combustión con atmósferas oxidantes.

- 4) El tratamiento térmico de compuestos orgánicos fosforados, pueden formar ácido fosfórico anhidro, el cual contribuye al ataque refractario y causa problemas de escoria
- 5) Altas eficiencias de remoción son requeridos para BPC's y dioxinas.
- 6) El tratamiento térmico de residuos que contengan metales pesados pueden generar concentraciones altas de metales solubles y/o totales en los productos finales. Por ello los productos finales de los residuos del tratamiento pueden ser peligrosos.
- 7) El tratamiento térmico de residuos clorados o sulfonados requiere adsorción o absorción de gases ácidos

#### 5.5 EXPERIENCIAS EN LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PLANTAS DE INCINERACIÓN

Durante las últimas décadas, la incineración ha sido objeto de críticas desde el punto de vista ambiente y salud. Se ha señalado al sistema como fuentes muy peligrosas de emisiones de dioxinas y furanos.

En consecuencia, la normatividad sobre emisiones son cada vez más estrictas. Sin embargo, en los últimos años se ha registrado un desarrollo en lo que se refiere a la depuración de gases y procesos de combustión, así como en la preparación de residuos como combustible alterno. Los resultados obtenidos son muy satisfactorios y a la vista de los hechos, las perspectivas para la incineración de residuos con recuperación de energía son favorables.

En todo el mundo, hay muchos proyectos elaborados pero en la mayoría de los casos, los proyectos sufren retrasos o se abandonan con frecuencia, la razón es el rechazo de las plantas de incineración por parte de la opinión pública.

Otra alternativa realista a la incineración, es el depósito en sitios a cielo abierto, que también es objeto del mismo tipo de oposición. El resultado que enfrentan numerosos países, es la paralización de esta actividad, que si no se modifica en una plena capacidad de decisión, conducirá en pocos años a una situación insostenible.

Algunos países cuentan con plantas de incineración muy pequeñas y en muchos casos anticuadas. Tal es la situación de Francia, España, Italia y Gran Bretaña. Esto es, debido a los nuevos y estrictos requisitos para la protección del medio ambiente, dichas plantas deberán ser reemplazadas por plantas nuevas en un futuro próximo. Probablemente el cumplimiento de los nuevos requisitos resulten demasiado costosos para unidades pequeñas. La solución óptima quizá sea la instalación de plantas regionales, podría entonces esperarse una evolución con tendencia a plantas de mayor tamaño, y mayores posibilidades de ofrecer soluciones a un costo más accesible y favorable desde el punto de vista ambiente.

Como ejemplos, tenemos la planta de "Saint-Ouen II" en París, Francia, la cual fue puesta en operación en 1990, e incinera 1700 toneladas diarias de residuos sólidos orgánicos domiciliarios, ésta planta cuenta con la tecnología más avanzada en control de contaminantes, así como en generación de vapor y energía eléctrica, dado que en los países de Europa, además de incinerar los desechos, se aprovecha la energía generada por el calor desprendido.

También en Francia, en el Distrito Bayonne-Anglet-Biarritz, existe una planta de tratamiento de residuos sólidos en la cual, la incineración desempeña un papel importante, pues gracias a ella se genera vapor y energía eléctrica. La planta de Bayonne-Anglet-Biarritz, fue inaugurada en 1989 e incinera cerca de 2.5 toneladas por hora de residuos sólidos orgánicos y 600 toneladas anuales de residuos hospitalarios. Así mismo, en los Estados Unidos de América, existen varias compañías dedicadas al manejo de los residuos sólidos orgánicos y hospitalarios, y que ofrecen los servicios de incineración de residuos sólidos, mediante plantas de grandes capacidades y tecnologías muy avanzadas.

Los incineradores de residuos, son plantas de recuperación de recursos, comparables a otras unidades de producción de energía. La producción simultánea de electricidad y vapor o agua caliente, constituye una alternativa interesante para gran número de plantas. En lo que se refiere a normatividad sobre emisiones, Alemania en un principio prestó especial atención a ácidos como HCL, HF y SO<sub>2</sub>, mientras que en Suecia se señaló a los metales pesados, especialmente el mercurio y las dioxinas como elementos más importantes. Actualmente, varios países han adoptado los requisitos suecos relativos a dichos contaminantes.

En 1985, Suecia fue objeto de atención, debido a la promulgación de una moratoria para la construcción de nuevas instalaciones de incineración. Se inició entonces un estudio muy ambicioso sobre los aspectos energéticos y ambientales de la incineración de residuos. Dicho estudio se emprendió como resultado de la preocupación del público sobre las dioxinas y de la incertidumbre que rodeaba al impacto de éstas sobre la salud y el medio ambiente. En 1986 se presentó el informe sobre energía derivada de residuos, la conclusión general del estudio fue que la incineración constituye un método aceptable de tratamiento de residuos. Se consideró factible una reducción importante de la emisión de contaminantes mediante la adopción de medidas para la mejora del funcionamiento y para la depuración de gases. Consecuentemente, en 1986, se suspendió la moratoria de construcción de nuevas plantas en el mundo.

En gran número de países, es muy difícil por no decir imposible, conseguir la aceptación incluso para las plantas modernas de elevada eficacia. La actividad de la opinión pública no se basa en hechos sino en emociones y en información insuficiente o inadecuada.

Existen, sin embargo, diferencias entre los distintos países. En Dinamarca, por ejemplo, las perspectivas en cuanto a la aceptación son favorables. Es algo interesante, ya que Dinamarca cuenta con un programa muy amplio de incineración de residuos. La gente ha comprendido, por experiencia propia, que la incineración no es un monstruo peligroso sino un método válido y eficaz de recuperación de energía de residuos. Incluso, en Suecia y en Holanda existe una situación similar.

La incineración de residuos es un método de tratamiento altamente competitivo, incluso desde el punto de vista ambiental. Una amplia experiencia, confirma la posibilidad de adaptarse a requisitos muy estrictos, es decir, puesto que los incineradores de residuos constituyen unidades de producción de energía, sus emisiones deben competir con las correspondientes a otras alternativas de unidades de producción que utilizan petróleo, carbón, gas natural, etc., como combustible.

Por el momento, se puede decir que la incineración no es la solución para todos los problemas de residuos. Actualmente, los expertos convienen en que los sistemas de gestión de residuos consisten en una combinación de procesos centralizados y de actividades de selección en origen, reciclaje y composteo, así como la disminución de los volúmenes dispuestos en relleno sanitario.

La Tabla (5.2), muestra la tendencia de tratamiento y disposición final de algunos países Europeos y de América, en porcentaje.

Tabla 5.2 Tendencia de tratamiento y disposición final de residuos de algunos países\* (Valores en %)

PAIS	RECICLAJE Y COMPOSTEO	INCINERACION	RELLENO SANITARIO
JAPON	28.0	70.0	2.0
E.U.A.	10.0	11.0	79.0
BELGICA	5.0	20.0	75.0
INGLATERRA	3.0	8.0	89.0
DINAMARCA	5.0	75.0	20.0
FINLANDIA	8.0	—	94.0
FRANCIA	8.0	40.0	52.0
ALEMANIA	14.0	35.0	51.0
GRECIA	—	—	100.0
ITALIA	1.0	22.0	77.0
IRLANDA	—	—	100.0
LUXEMBURGO	75.0	—	25.0
HOLANDA	10.0	32.0	58.0
NORUEGA	3.0	5.0	92.0
PORTUGAL	—	—	100.0
ESPAÑA	15.0	—	85.0
SUECIA	10.0	60.0	30.0
SUIZA	5.0	73.0	22.0
AMERICA LATINA	1.0	1.0	98.0

\* Fuente SEMINARIO SOBRE PROCESOS TERMICOS PARA  
EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SECRETARIA DEL  
MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA. INE  
CD México Mayo 1995 Cap 3 pag 6

En México, las plantas de incineración de residuos sólidos orgánicos u hospitalarios que brinden sus servicios al público, se encuentran aún en la etapa de proyectos o bien como plantas de prueba a bajas capacidades. Existen algunas instalaciones que proporcionan o proporcionaron servicio de incineración de residuos, a un solo usuario en particular; tal es el caso de la Planta Incineradora de Residuos Sólidos de Ciudad Universitaria, D.F., la cual entró en funcionamiento en 1984, y cerró sus instalaciones en 1992. Dicha planta incineraba los residuos orgánicos no reciclables, que se generaban en el campus de la U.N.A.M., a razón de 1500 kg/h, sin embargo, y pese a que funcionaba muy bien, fue cerrada en Junio de 1992, debido a que al entorno de sus instalaciones se asentaron algunos núcleos poblacionales, a los cuales afectaba su operación.

De igual manera, existe una planta incineradora de basura dentro de las instalaciones de la Planta Industrializadora de Desechos de San Juan de Aragón, D.F., la cual opera desde 1991, y proporciona servicio al Departamento del Distrito Federal, exclusivamente, para eliminar los desechos no reciclables que se generan en la Planta Industrializadora. Desafortunadamente, esta planta, esta siendo alcanzada por la llamada "mancha urbana", y quizás en el futuro, corra la misma suerte que su antecesora de Ciudad Universitaria.

Por otro lado, existen empresas que ofrecen el servicio de incineración de residuos sólidos industriales peligrosos sin estar dedicadas exclusivamente a la prestación del servicio, sino como resultado de que dentro de sus instalaciones cuentan con uno o varios incineradores de gran capacidad. Tal es el caso de la empresa Ciba-Geygy Mexicana, S.A., que en sus plantas de Atotonilquillo, Jal. y Atlacomulco, Mex., proporcionan el servicio de incineración de residuos sólidos peligrosos, a las empresas vecinas a sus instalaciones. De la misma manera, las compañías Cementos Apasco, en Apaxco, Mex., y Cementos Mexicanos, en Tula, Hgo., están quemando, en sus hornos de calcinación de piedra, residuos industriales orgánicos y llantas usadas, a los generadores de este tipo de residuos.

De las empresas dedicadas a prestar el servicio de incineración exclusivamente, la que cuenta con la planta de incineración mas desarrollada, desde un punto de vista tecnológico y funcional, es la Planta Incineradora Municipal de Merida, Yucatán. Dicha planta incinera residuos hospitalarios a razón de 3 1 toneladas diarias, también proporciona a sus usuarios el suministro de contenedores para los residuos, así como el servicio de recolección desde los sitios de generación hasta el incinerador.

Existen también proyectos para una futura construcción de plantas de incineración de residuos sólidos en varios estados de la República Mexicana, tal es el caso del Gobierno del Estado de Tlaxcala, el cual a través del Sistema de Control de Residuos Sólidos del Estado de Tlaxcala (SICORT) y bajo la asesoría de empresas especializadas, tiene planeado dar el servicio de incineración de residuos sólidos orgánicos y hospitalarios, a varias empresas del Estado de Tlaxcala, así como a los hospitales de la Ciudad de Tlaxcala, Tlax.

Entre otros proyectos importantes figuran, el del Gobierno del Estado de Aguascalientes en colaboración con un grupo de médicos particulares de la Ciudad de Aguascalientes, quienes bajo la asesoría de empresas especializadas en control de contaminantes, han planeado construir una planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios, que proporcione servicio a hospitales privados de la Ciudad de Aguascalientes, Ags. Así también, el H Ayuntamiento de Ciudad Lerdo, Durango, está planeando la construcción de una planta de incineración que proporcione servicio a los hospitales de la llamada "Comarca Lagunera", constituida por las Ciudades de Lerdo y Gómez Palacio en el Estado de Durango, y Torreon en el Estado de Coahuila, de igual forma, recientemente, el Organismo Público Descentralizado Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (SIAPAS) de San Luis Potosí, ha convocado a empresas interesadas, a que propongan proyectos para la instalación de una planta eliminadora de los residuos hospitalarios, generados en el Estado de San Luis Potosí. Otro proyecto ambicioso, es el del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) para instalar una planta incineradora de residuos patológicos, en Ciudad Universitaria, D.F., esta vez las instalaciones de la planta se ubicarán en un sitio alejado de los asentamientos humanos, y se incluirá la más avanzada tecnología para el cuidado del ambiente y el ahorro de energía. Existe también interés, por parte de grupos de empresarios, de instalar plantas de incineración de residuos hospitalarios, en las Ciudades de Tijuana, B.C y Puebla, Pue. Por último, en Julio de 1995, se construyó una planta incineradora de residuos sólidos patológicos, en la Ciudad de Culiacan, Sinaloa, entrando en operación al mes siguiente.

La eliminación de los residuos sólidos orgánicos y residuos sólidos hospitalarios en instalaciones centralizadas parece ser la vía más satisfactoria en materia de protección ambiental e higiene. La creación de una instalación centralizada (planta de incineración), de gran capacidad y específica para residuos sólidos orgánicos y residuos sólidos hospitalarios, representa una inversión muy fuerte. Se requiere realizar un estudio minucioso tanto del lugar generador de residuos, como del lugar donde se instalará la planta.

## 5.6 RIESGOS ASOCIADOS A LOS PROCESOS TERMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS

El tratamiento térmico de residuos peligrosos, tal como otras operaciones industriales no esta exento de riesgos, algunos riesgos se encuentran asociados con el equipo de tratamiento (riesgos mecanicos), otros están relacionados con la operación (riesgos operacionales), así como los riesgos de transporte y de almacenamiento de los residuos peligrosos.

En ciertas metodologías, se requiere de un formato específico para examinar los riesgos asociados a las actividades inherentes con el tratamiento de los residuos en general, así como para manejar los estándares desarrollados para la protección de la salud humana y el medio ambiente. Específicamente, para los riesgos asociados con el tratamiento térmico de residuos peligrosos, las metodologías de evaluación han sido desarrolladas por la U.S.-EPA y otros organismos afines.

A continuación se describen las actividades específicas, que se consideran como referencia para determinar las categorías de riesgo en cada una de las instalaciones que conforman una instalación para el tratamiento de los residuos mediante la aplicación de los procesos térmicos.

### 5.6.1 RIESGO POR TOXICIDAD

Se puede presentar un riesgo ambiental por escape de gases y vapores a la atmósfera en caso de que llegaran a ocurrir los siguientes eventos:

- 1) Emisión de vapores de solventes volátiles de alta capacidad calorífica o en caso de fuga del sistema de alimentación al tratamiento térmico.
- 2) Combustión descontrolada e incompleta de solventes u otros residuos tóxicos, debido a la apertura del dispositivo de relevo del sistema térmico.
- 3) Fuga de mezcla de gases, de sustancias altamente riesgosas.
- 4) Falla en el sistema de lavado de gases, incluyendo dispositivos de seguridad e instrumentación.
- 5) Falla en el sistema de combustión, que ocasionaría la emisión de sustancias tóxicas de dos tipos



- a) residuo no quemado
- b) gases tóxicos, generando dioxinas, furanos y otros compuestos tóxicos.

Los riesgos mencionados, se han venido reduciendo conforme han mejorado las tecnologías de control, seguridad e instrumentación, tales como:

- Sistemas de lavado de gases.
- Sistemas de Scrubbers.
- Sistemas analizadores de gases, tales como: Cromatógrafos de gases y Espectrofotómetros
- Ciclones.
- Sistemas de filtración.
- Sistemas de relevo.
- Sistemas de intercambio de calor.

#### 5.6.2 RIESGO POR FUEGO Y EXPLOSION

La posibilidad de fuego y explosión es un factor importantísimo a considerar, en las industrias que manejan substancias inflamables y explosivas para el caso de sistemas de destrucción térmica, que requieren del uso de combustibles, también existe la posibilidad de ocurrencia de este tipo de eventos, tanto en su almacenamiento como durante su transporte, e incluso en la fase operativa.

Cabe aclarar que como cualquier industria que maneja substancias peligrosas, en los incineradores se hace patente, sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de este tipo de accidentes en una industria química, es mucho más alta.

Estos riesgos se reducen, en la medida que se mejoren los mecanismos de control y se instrumenten dispositivos de seguridad en los equipos (arrestadores de flama, válvulas de alivio, válvulas de seguridad, sistemas de control computarizado, detectores de flama del quemador, interruptor de posición del quemador, control de presión del combustible, control de presión del aire, control de análisis de gases, sistema de absorción, etc.)

Es de gran importancia asumir criterios sobre la compatibilidad de los residuos a incinerar, para reducir riesgos. Por otra parte, los potenciales de riesgo por explosión en un tratamiento térmico, se inscriben dentro de los siguientes puntos:

- A) Mezcla explosiva en el hogar del incinerador. La probabilidad de ocurrencia de este evento, esta supeditada a la falla del sistema de inyección de aire al quemador, así como a la falla de la instrumentación y de los dispositivos de seguridad
- B) Inyección de solventes antes de finalizar la etapa de precalentamiento.
- C) Almacenamiento de residuos peligrosos con esta última característica

El riesgo por incendio puede ocasionarse por el manejo de materiales inflamables, pudiendo afectar su entorno por radiación térmica y nubes inflamables.

Se recomienda que los grupos y asociaciones locales involucradas en las respuestas a emergencias (policía, bomberos, etc.), sean notificadas en cuanto a tipo, cantidad y características generales de las sustancias transportadas, y que se cuente con procedimientos de acción, en caso de una posible emergencia

### 5.6.3 RIESGO DE EXPLOSION DE POLVO COMBUSTIBLE EN EL HOGAR

El evento de explosión, se puede dar cuando haya presencia de polvo combustible en concentraciones explosivas en el hogar, debido a un exceso de aire del soplador de la cámara principal de combustión.

La probabilidad de ocurrencia de este riesgo, ha disminuido con la introducción de sistemas cada vez más eficaces para la alimentación de combustible y aire, así como los sistemas de instrumentación, que permiten detectar niveles de explosividad en el interior del proceso. Como ejemplos de este tipo de equipos, podemos mencionar:

- Sistema de ventilación.
- Sistemas detectores de exceso de aire en el ventilador.
- Sistema de análisis de gases.

#### 5.6.4 RIESGOS POR EMISIONES DEL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA CON PROBLEMAS A LA SALUD Y AL AMBIENTE

Se considera que un sistema de destrucción térmica bien diseñado y operando adecuadamente, no causa problemas al medio ambiente ni a la salud. Ahora bien, con base a la información disponible sobre riesgos de destrucción térmica, se han desarrollado estrictos estándares de contaminantes, así como para las emisiones de los sistemas térmicos de residuos peligrosos.

Dichas emisiones contienen pequeñas cantidades de metales pesados y compuestos orgánicos incombustibles, los compuestos orgánicos en su gran mayoría son trazas de compuestos orgánicos alimentados y productos de una combustión incompleta (PIC's), formados durante el proceso de combustión. Por lo anterior se están desarrollando criterios para estandarizar los límites de las emisiones de compuestos orgánicos. Esta situación permitirá llevar un control caso por caso, basado siempre en la necesidad de evitar el deterioro ambiental y resguardar la salud pública.

Este riesgo, se puede reducir, siempre y cuando se apliquen los estrictos estándares internacionales de emisiones a la atmósfera, puede lograrse vía la aplicación del protocolo de pruebas, antes de iniciar la operación formal de la instalación.

Estudios recientes han reconocido que uno de los principales riesgos para la salud y el medio ambiente, en la incineración de los residuos peligrosos, es la que se da por vía de acceso de exposición indirecta; estas vías de acceso están relacionadas con la ingesta por seres humanos de elementos existentes en el medio ambiente y los alimentos; para lo cual se agruparán en seis vías de acceso como son: ingesta de tierra, consumo de vegetales cultivados sobre el terreno, consumo de vegetales de raíz, consumo de carne de res y leche, consumo de pescado y el aire intramuros y extramuros, como se puede ver en la Tabla (5.3).

TABLA 5 3  
RUTAS POSIBLES DE EXPOSICION INDIRECTA  
A TRAVES DE DISTINTOS MEDIOS<sup>F</sup>

MEDIO	MECANISMO DE DEPOSICION
Ingesta en la tierra	Lixiviado Erosion Escorrentamiento Degradación Volatilización
Consumo de vegetales cultivados sobre el terreno	Deposición directa de contaminantes sobre la planta Absorción directa de contaminantes en fase vapor Absorción desde la raíz de contaminantes que se depositan sobre la tierra
Consumo de vegetales con raíz	Absorción desde la raíz de contaminantes depositados en el terreno Absorción de contaminantes provenientes del agua
Consumo de carne de res y leche	Deposición directa de contaminantes sobre la planta Absorción directa de contaminantes en su fase vapor Absorción desde la raíz de contaminantes depositados sobre el terreno Todos estos mecanismos se afectan por la ingesta de forraje por parte del ganado de ordeña y engorda
Consumo de pescado	Concentración de contaminantes en el volumen de agua Concentración en sedimentos Deposición directa Escorrentamientos provenientes de superficies impermeables dentro de la cuenca hidrográfica Escorrentamiento proveniente de superficies permeables dentro de la cuenca hidrográfica Erosión del terreno de la cuenca hidrográfica
Aire intramuros y extramuros	Inhalación Diseminación de contaminantes inhalados y capturados por los macrolagos pulmonares

<sup>F</sup> Fuente: Borrador de la EPA, EEUU. Año 1993.

A pesar de que la incineración de los residuos peligrosos es una tecnología comprobada en la que se tiene una gran experiencia en diseño y operación, sin embargo ha surgido mucha controversia la cual cae en dos categorías principales como son

- 1 Garantizar el tratamiento o la destrucción adecuados mediante una buena combustión y garantizar que las emisiones de la instalación no excedan los límites reglamentarios.
- 2 Caracterizar más ampliamente los riesgos de las emisiones de la combustión

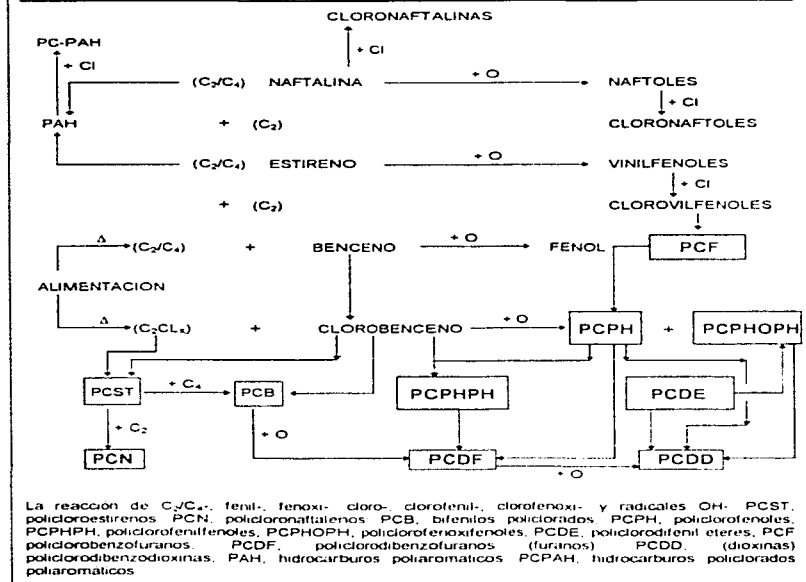
Primero, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, trata de garantizar que la cámara de combustión funcione de tal manera que se realice una buena combustión para la destrucción correcta de los compuestos orgánicos. Debido a las dificultades técnicas actuales para medir la destrucción en la misma cámara de combustión, el enfoque de la EPA consiste en supervisar diferentes parámetros (por ejemplo, temperatura, monóxido de carbono u oxígeno) que son indicadores de cuán adecuada es la combustión de los residuos, la primera categoría de problemas técnicos contienen preguntas relacionadas con la selección y el uso de los mejores parámetros que sirvan como indicadores de la eficiencia de la combustión.

Segundo, hay preguntas sobre las emisiones al aire para las cuales no se tienen respuestas completas. Estos problemas se refieren principalmente a la composición de la serie total de contaminantes, como pueden ser los productos de combustión incompleta "PIC" o la generación de dioxinas y furanos, emitidos por combustores de residuos peligrosos los cuales tienen acceso a los seres humanos y el medio ambiente a través de las vías indirectas de exposición.

Se han iniciado pruebas en laboratorio y a escala industrial para los productos de combustión incompleta "PIC" así como la generación de dioxinas y furanos, las cuales fueron conocidas a raíz del accidente químico en Seveso Italia ocurrido en 1976 que provocó que unos pocos kilos de dioxinas contaminaran áreas muy grandes alrededor de la planta química. Las dioxinas y furanos son sustancias muy complejas emitidas por las incineradoras que tratan residuos con Flúor, Cloro, Bromo, Yodo. Nacen como resultado de la quema de material orgánico junto con material clorado, son sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables, se encuentran dispersas por el medio ambiente, son las sustancias más venenosas producidas por el hombre, se forman como productos secundarios en las reacciones químicas del Cloro tal como se puede ver en la Figura (5 A).

En el caso de los incineradores de residuos los límites reglamentarios específicos, están basados en las suposiciones conservadoras sobre las condiciones de operación, sin embargo, debido a la preocupación pública sobre este enfoque se recomienda realizar más análisis sobre la naturaleza y la toxicidad de las emisiones de la combustión y su contribución al riesgo total.

Figura 5A GENERACION DE DIOXINAS Y FURANOS EN UNA  
COMBUSTION EN PRESENCIA DE CLORO<sup>5</sup>



<sup>5</sup> Fuente: K Ballschmitler, et al. "Reaction pathways for the formation of polychlorodibenzodioxins (PCDD) and fums (PCDF) in the combustion process" Short Communications, Universitat Ulm, D-7900 Ulm, Federal Republic of Germany, Edt. Kurze Mitteilungen

### 5.6.5 ESTIMACION DE RIESGOS A LA SALUD EN EL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

Los riesgos potenciales a la salud humana, pueden ser medidos usando técnicas de evaluación de riesgo, la evaluación de riesgo emplea métodos establecidos para evaluar la relación de la explosión de sustancias tóxicas y la subsecuente ocurrencia de accidentes, considerando no solamente los riesgos de la operación diaria, sino también los causados por una condición anormal y sus consecuencias.

Algunas metodologías de evaluación, involucran fallas simples calculadas mediante un valor conservativo, determinado como el peor caso de riesgo, mientras que otros aplican modelos computarizados considerando un mayor número de variables.

Se han desarrollado modelos de dispersión de contaminantes en el aire considerando datos de los efectos a la salud para usarlos dentro de estas evaluaciones además de que continuamente se actualiza esta información y en forma paralela también se desarrollan nuevas guías en el área de evaluación de riesgos.

La evaluación de riesgo en el sistema de destrucción térmica de residuos, examina dos factores: la toxicidad de los contaminantes del sistema de destrucción térmica y la magnitud de exposición en seres humanos de estos contaminantes. La toxicidad es una medida de efectos adversos, que los contaminantes pueden causar en los seres humanos o en otras especies.

La exposición es la cantidad estimada de contaminante que se encuentra en contacto con los seres humanos. Cuando esto ocurre, la evaluación de riesgo permitirá estimar la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos a la salud, como si fuera el resultado de una exposición de contaminantes, con una toxicidad específica en los seres humanos principalmente.

Para medir el riesgo de misiones a la salud por el sistema de destrucción térmica de residuos, deben considerarse algunas etapas. La primera etapa, es medir las emisiones o estimarlas basándose en las especificaciones técnicas del sistema de destrucción térmica (destrucción y eficiencia de destrucción) y los tipos y cantidades de residuos a quemarse, para predecir la concentración de contaminantes en el aire, pueden usarse modelos que consideren la dilución y dispersión de los contaminantes así como el desplazamiento de los mismos fuera de la instalación.

Con base en la estimación de concentraciones del contaminante en varios puntos, es posible determinar la concentración máxima del contaminante, usando suposiciones conservadoras (por ejemplo, tiempo de duración de la exposición máxima del contaminante) y datos toxicológicos, los riesgos a la salud pueden ser identificados y cuantificados.

### 5.6.6 IDENTIFICACION DE RIESGOS A LA SALUD EN EL SISTEMA DE DESTRUCCION TERMICA DE RESIDUOS PELIGROSOS

El peor caso de riesgo estimado a la salud, esta basado en emisiones de metales y compuestos organicos, quedando establecido por el rango de sistema de destrucción térmica de los residuos, que va de 1 en 100 000 a 1 en 100 000 000, por ejemplo de contraer cancer en el tiempo de vida operativa de un trabajador. Estas estimaciones conservadoras equivalen a una exposicion continua de 70 años en el punto donde la concentracion es mas alta

Existen regulaciones de ciertas organizaciones que consideran niveles de riesgo aceptables, basados en incrementos de tiempo de vida del riesgo de 1 en 10 000 y 1 en 10 000 000. Los niveles de aceptabilidad dependen de la naturaleza del riesgo y el tipo de actividades asociadas con esta

Actualmente existen estandares para el control y el incremento de contaminantes que son emitidos por cualquier sistema de destrucción térmica de residuos, las principales mediciones se refieren a la destrucción y eficiencia de la eliminacion de ellos. El 99.99% de la destrucción y eficiencia de eliminacion, significa que una molecula de un quimico es liberada al aire por cada 10 000 moleculas que entran al sistema de destrucción térmica. Algunas organizaciones han hecho numerosos estudios que han dejado muy claro que cuando los sistemas de destrucción térmica se apegan a las regulaciones establecidas, disminuyen enormemente los riesgos para la salud

### 5.6.7 RIESGOS EN LA TRANSPORTACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las actividades que involucran el transporte de residuos peligrosos, siempre conllevan el riesgo de que los residuos sean liberados al medio ambiente. Este es el mismo tipo de riesgo que se presenta en la transportacion de los quimicos a plantas industriales. Los peligros pueden ser reducidos desde la planeacion, uso y mantenimiento del equipo y desarrollando procedimientos orientados a la seguridad.

La suma de los peligros potenciales se incrementa por accidentes de transportación de residuos peligrosos con la probabilidad de ocurrencia de posibles derrames y fugas durante la transferencia de residuos del o hacia el vehiculo

Los requerimientos de algunas organizaciones ambientales, requieren para el transporte de residuos peligrosos, procedimientos de emergencias y los manifiestos que llevan los transportistas de residuos

Así mismo, los transportistas deben estar capacitados para atender cualquier tipo de fuga o derrame que ocurra en la unidad de transporte. También deben contar con la hoja de seguridad de los materiales y procedimientos de emergencia, para la prevención de fugas y derrames.



### 5.6.8 EVENTOS NATURALES

Deben de ser considerados desde el diseño y ubicación de las instalaciones, para poder considerar posibles eventos, tales como tormentas, inundaciones y otro tipo de desastres naturales, que tienen un potencial de ocurrencia en cualquier estructura o ambiente.

En el caso de instalaciones de destrucción térmica de residuos, se deben contemplar los programas y planes para responder a tales situaciones, de acuerdo a la estructura, instalación y condiciones ambientales bajo las que se encuentra esta

### 5.7 ELEMENTOS QUE PRESENTAN PROBLEMAS EN LA INCINERACION

Mezclas de residuos conteniendo halógenos, azufre o fósforo necesitan equipo especial para eliminar derivados de estos elementos después que la combustión esta completa. La presencia de halógenos en la corriente residual resultará la formación de gases ácidos halogenados en el incinerador si suficiente hidrógeno esta presente por hidrólisis. El hidrógeno puede resultar del residuo de combustible mismo o puede ser generado a partir del agua formada por combustión orgánica dentro del incinerador.

El halógeno más común hallado en el residuo es el cloro, aunque el flúor y el bromo aparecen en cantidades pequeñas en ciertos tipos de residuos líquidos. El cloruro de hidrógeno y el fluoruro de hidrógeno son solubles en agua y, cuando los gases de chimenea son lavados con agua, serán eliminados substancialmente, el líquido de lavado es entonces neutralizado. Por otra parte, el bromuro de hidrógeno, no es tan soluble, y debe ser eliminado con una solución caústica.

Generalmente, es deseable lavar con agua y después neutralizar la solución, antes que lavar con una solución caústica. El lavado caústico puede resultar en la formación de partículas finas de cloruros inorgánicos en la cámara de lavado, estos a menudo pasan a través de la corriente superior del equipo de control de emisión al aire en la chimenea.

La mayoría de los procesos industriales como los agrícolas, farmacéuticos y de refinería generan este tipo de compuestos. El cloro tiende a reducir la combustión debido a que reduce el valor calorífico y también crea un combustible más difícil de quemar y si es quemado de manera incorrecta, el material clorado tiende a formar dioxinas y furanos y un polvo negro como resultado de una mala combustión.

La combustión de azufre resulta en la formación de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el cual puede ser eliminado en un lavador caústico húmedo o en un sistema de inyección de cal seca o húmeda.

La combustión de fósforo produce pentóxido de fósforo. En forma de cristal, este existe como una partícula extremadamente fina y es prácticamente imposible de eliminar, aunque es soluble en agua. También puede formar ácido fosfórico anhidro el cual contribuye al ataque del material refractario y causa problemas de escoria.

Los componentes inorgánicos de una corriente residual pasarán a través del incinerador o se acumulan dentro. Muchas sales funden a temperaturas en el rango de 1100°F a 1600°F, y resulta una pasta de sal creada dentro o en la corriente de salida del horno. Efectivamente, las corrientes cargadas de sal pueden requerir de hornos especiales, en los cuales la temperatura interna es mantenida arriba de la temperatura de fusión. La sal fundida fluye con un baño de agua para su eliminación posterior o su regeneración.

La mayoría de los metales son descargados como óxidos con la excepción de esos que subliman, tales como mercurio, zinc, arsénico y antimonio. Si una compañía considera usar incineración debe por lo tanto detenerse a ver si es posible capturar tales materiales hasta que los niveles de control de contaminación de aire requeridos sean satisfechos. Cantidades excesivas de estos metales en un residuo pueden excluir la incineración como una opción de eliminación.

Metales ligeros, tales como sodio, potasio y calcio, pueden ser fácilmente capturados en un equipo de control de emisión al aire. Sin embargo, ellos pueden causar un deterioro significativo al material refractario si es depositado en el incinerador. El sodio, el contaminante inorgánico más común en corrientes residuales, puede causar escorificación al material refractario arriba de 1800°F. Los metales, si son calentados arriba de su temperatura de fusión en un horno, también provocan desgaste y deterioro al refractario.

Los metales tóxicos puros o como óxidos, hidróxidos o sales que volatilizan a altas temperaturas (cadmio, arsénico, mercurio, plomo, estaño, zinc, plata y antimonio) pueden vaporizarse durante la incineración y son difíciles de remover usando el equipo de control convencional. Adicionalmente, elementos como el cromo trivalente puede ser oxidado a cromo hexavalente en sistemas de combustión con atmósferas oxidantes, siendo un elemento más tóxico.

En la Tabla (5-4) se presenta una lista de residuos que no deben ser incinerados.

TABLA 5.4 LISTA DE RESIDUOS QUE NO DEBEN SER INCINERADOS<sup>F</sup>

RESIDUO
Solución de lixiviado de residuo proveniente del proceso de lixiviación ácida de polvos/lodos de control de emisiones de la fundición secundaria de plomo
Lodos del proceso de recuperación de mercurio para la producción de cloro
Ácido arsénico
Óxido de arsénico
Trióxido de arsénico
Cianuro de bario
Bario
Cianuro de cobre
Cianuro de níquel
Trióxido de osmio
Cianuro potásico de plata
Cianuro de plata
Óxido talco
Talio (I) espejeado
Talio (I) sulfato
Vanadato de amonio
Óxido de vanadio
Cianuro de zinc
Fosfato de zinc
Cromato de calcio
Fosfato de plomo
Ácido selenioso
Disulfuro de selenio
Cloruro de talio (I)
Nitrato de talio (I)
Arsénico
Bario
Cadmio
Cromo
Plomo
Mercurio
Selenio
Plata
Níquel
Cobre
Estaño
Antimonio

<sup>F</sup> Fuente: Anteproyecto de Norma de Tratamiento Térmico.  
(cortesía de la Subdirección de Residuos Peligrosos).

### 5.8 CONSIDERACIONES EN LA SELECCION DE LOS EQUIPOS DE CONTROL PARA LA CONTAMINACION AMBIENTAL

En la última década la ingeniería ha sido fuertemente influenciada por su responsabilidad hacia la sociedad. Esta responsabilidad tiende en particular, hacia la protección de la salud y el bienestar público, y esta guiada por reglamentos ambientales. La respuesta de la ingeniería a este reto depende en gran medida de las limitaciones impuestas por tres factores principales:

- 1) Las limitaciones legales impuestas para la protección de la salud y el bienestar público y la ecología.
- 2) Las limitaciones sociales impuestas por la comunidad en donde se localiza o se localizará la fuente contaminante.
- 3) Las limitaciones económicas impuestas por las fluctuaciones en el mercado.

Hoy en día la evaluación cuidadosa dentro del marco de estas tres limitantes resulta esencial y a menudo integral con los procesos de planeación.

La estrategia de control para el cumplimiento de limitaciones relacionadas con el impacto ambiental a menudo se enfoca en cinco alternativas, cuyo propósito será la reducción y/o eliminación de las emisiones contaminantes:

- 1) Eliminación total o parcial de la operación.
- 2) Modificación de la operación.
- 3) Relocalización de la operación.
- 4) Aplicación de la Tecnología de Control adecuada.
- 5) Una combinación de las anteriores

Debido a los altos costos de los Sistemas de Control de la contaminación, los ingenieros, actualmente dirigen sus esfuerzos hacia la modificación de procesos para eliminar, tanto como sea posible, el problema de contaminación en la fuente. Esto incluye evaluación de técnicas alternas de producción, sustitución de materias primas, métodos más eficientes para control de proceso, etc. Si desafortunadamente no hay alternativa, deberá considerarse la aplicación de Equipos de Control de la Contaminación. Debido a los altos costos, la selección apropiada del equipo de control resulta esencial. El equipo deberá diseñarse para cumplir con las limitaciones reglamentarias de emisión en base a una operación continua, donde las interrupciones estarán sujetas a sanciones que dependerán de las circunstancias. Los requerimientos para la eficiencia de diseño enfatizan las prácticas de operación y mantenimiento.

De hecho resulta frecuente que los requerimientos favorables, tanto de operación como de mantenimiento de un equipo en particular, influyan fuertemente en su selección, a pesar de que el Costo de Capital sea más alto comparado con otros equipos. El rápido ascenso de los costos de energía, mano de obra y materiales hacen que la operación y el mantenimiento tengan más importancia que el costo original

### 5.8.1 FACTORES EN LA SELECCION DEL EQUIPO DE CONTROL

Existen varios factores a considerar, previos a la selección de un equipo de control en particular. En general pueden agruparse en tres categorías: consideraciones de instalación, consideraciones de ingeniería de procesos y consideraciones económicas.

#### 5.8.1.1 CONSIDERACIONES DE INSTALACION

- 1) Requerimientos de servicios (Energía Eléctrica, Agua, Tratamiento y Disposición de residuos, etc.)
- 2) Recuperación de energía.
- 3) Condiciones ambientales
- 4) Consideraciones de espacio
- 5) Requerimientos reguladores.
- 6) Estética.
- 7) Ruido.

#### 5.8.1.2 CONSIDERACIONES DE INGENIERIA DE PROCESOS

- Características de la corriente gaseosa

- 1) Volumen
- 2) Temperatura
- 3) Humedad

- 4) Corrosividad
- 5) Viscosidad
- 6) Explosividad
- 7) Presión

• Características de los contaminantes

- 1) Concentración
- 2) Tamaño de partícula
- 3) Propiedades eléctricas
- 4) Propiedades físicas
- 5) Propiedades químicas
- 6) Reactividad
- 7) Naturaleza hidrosférica

- Caída de presión permitida
- Variables en materias primas
- Variables en velocidades de proceso
- Requerimientos de calidad del producto
- Expansión futura

5.8.1.3 CONSIDERACIONES ECONOMICAS

- 1) Viabilidad de realización y estudios de ingeniería
- 2) Terreno, servicios, materiales
- 3) Compra e instalación de hardware y equipo
- 4) Impuestos y seguro
- 5) Operación y mantenimiento
- 6) Arranque y adiestramiento
- 7) Vida útil del equipo / Valor de salvamento

Como complemento a esta sección, existen algunos puntos a tratar antes de la compra. Entre los más importantes destacan los siguientes

- Desarrollar especificaciones
- Obtener el cumplimiento de garantía en condiciones apropiadas
- Obtener el cumplimiento de datos previos o datos de planta piloto
- Comparar con estándares industriales
- Tener todas las piezas necesarias
- Asegurar obedecer la regulación
- Definir la asistencia técnica ha ser suministrada
- Obtener precio estable y calendario

### 5.8.2 COMPARACION DE ALTERNATIVAS DEL EQUIPO DE CONTROL

La selección final del equipo de control esta en función de la capacidad que tenga el equipo para cumplir con las leyes y reglamentos vigentes, al menor costo anual (inversión de capital amortizado más costos de operación y mantenimiento)

Para comparar alternativas es esencial el conocimiento de la aplicación particular del equipo, así como el sitio donde se va a instalar el mismo, ver Tabla (5.5) Es conveniente realizar un análisis preliminar de las ventajas y desventajas de cada uno de los equipos de control, ver Tabla (5.6) Por ejemplo, si en el sitio de instalación no se tienen disponibles sistemas de tratamiento de agua o de residuos, esto impedirá el uso de lavadores húmedos, en su lugar la eliminación de las partículas se tendría que realizar por medio de sistemas secos, tales como ciclones, filtros de bolsa y/o precipitadores electrostáticos. Si el suministro de combustible para equipo auxiliar no es continuo, puede no ser posible la combustión de vapores orgánicos contaminantes en un sistema de incineración. Si la distribución de tamaño de partícula en la corriente gaseosa es relativamente pequeña, lo más probable es que no se consideren los colectores ciclónicos. Si los vapores contaminantes son reutilizados en el proceso los esfuerzos de control pueden ser dirigidos hacia los sistemas de adsorción. Existen muchas otras situaciones donde el conocimiento de la capacidad de las diferentes opciones de control, combinadas con el sentido común, simplificarán el procedimiento de selección.

El procedimiento de análisis general, tal como se presenta en las Figuras (5.1a-5.1e) para el diseño del equipo de control de contaminación atmosférica, presenta varias alternativas; entre las cuales se incluyen

- 1) Anticiparse para poder cumplir con las leyes y reglamentos aplicables para el control de la contaminación atmosférica.
- 2) Estimar el desempeño del equipo de control ya existente.
- 3) Evaluar la factibilidad del equipo propuesto y diseñado.
- 4) Valorar los efectos en el equipo de control por modificación en el proceso.

Tabla 5.5 Fuentes Industriales de Contaminación y Equipos comunes de Control <sup>5</sup>

Matriz Industria/Equipo	Pulpa y Incineración de papel      residuos		Petroquímica	Cemento	IPP/Cogeneración	Hierro y acero	Metales no ferrosos
Precipitadores Electrostáticos	●	●	●	●	●	●	●
Filtros de tela		●		●	●	●	
Lavadores secos	●	●			●		●
Lavadores húmedos	●	●			●		●
Coque de empuje						●	
Lavadores de agua de mar			●		●		
Manejo de ceniza					●		

<sup>5</sup> Fuente: ASEA BROWN BOVERI (ABB).  
ABB Environmental Systems.  
Equipos y Aplicaciones

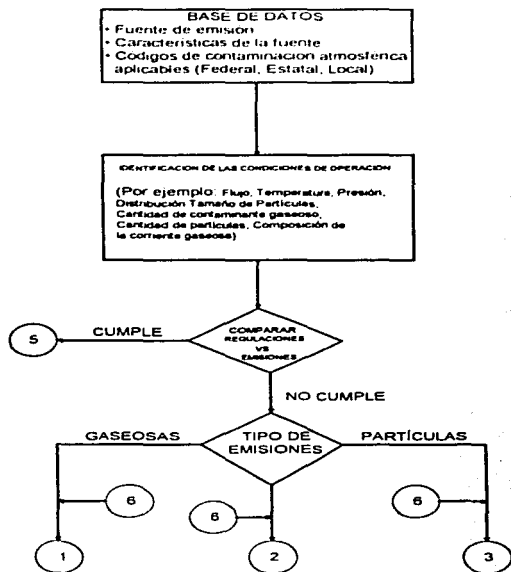


TABLA 5 6  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE EQUIPOS DE CONTROL  
DE PARTICULAS PARA INCINERACION <sup>3</sup>

EQUIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CASA DE BOLSAS	Muy eficiente para separar material particulado de corrientes gaseosas, la eficiencia de control puede exceder al 99% para muchas aplicaciones. Bajas caídas de presión cuando se controlan partículas muy finas. Pueden colectar partículas con resistividad eléctrica. Cuando la limpieza es por sacudimiento mecánico o inversión de aire la eficiencia de control es generalmente independiente de la cantidad a la entrada. Simple de operar.	No puede controlar cuando la corriente gaseosa excede de 550°F. Las partículas muy erosivas pueden deteriorar la tela. Necesita telas especiales para el control en corrientes gaseosas corrosivas. Bajas eficiencias con partículas entre 0.1 a 0.3 µm de diámetro.
PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	Bajas costos de operación con bajas caídas de presión (0.5"H <sub>2</sub> O). Pueden colectar polvos corrosivos o alquitranados. Los requerimientos de electricidad para operaciones continuas son bajos. Los precipitadores electrostáticos húmedos pueden colectar contaminantes gaseosos.	Altos costos de inversión inicial. Puede ser necesario agentes condicionantes para el control de partículas resistentes. Mas sensitivo a la cantidad de partículas en comparación de los otros controles. Requiere espacios que pueden ser muy grandes.
VENTURI HUMEDO	Inversión inicial baja. Requiere espacios pequeños. Puede controlar materia corrosiva o inflamable con no muchos problemas. Puede simultáneamente controlar materia particulada y gaseosa. La eficiencia de control es independiente de la resistividad de la partícula. Simple de operar.	Altos costos de operación cuando se tienen altas caídas de presión (40"H <sub>2</sub> O o mas). Separa los residuos solidos en la corriente acuosa. Bajas eficiencias con partículas menores de 0.5 µm de diámetro.
VENTURI SECO	Puede simultáneamente controlar materia particulada y gaseosa. Requiere pequeños espacios. Separa la materia particulada seca.	Requiere un operador experto. Altos costos de capital y de operación.

<sup>3</sup> Fuente: Air Pollution Control Technologies-Stationary Sources. USETI, México, D.F. Noviembre 13 al 17, 1995.

Figura 5.1a ANALISIS GENERAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE<sup>2</sup>



<sup>2</sup> FUENTE: Air Pollution Engineering Manual  
Anthony J. Buonicore y Wayne Davis, Pag. 3.

Figura 5.1b ANALISIS GENERAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE\*

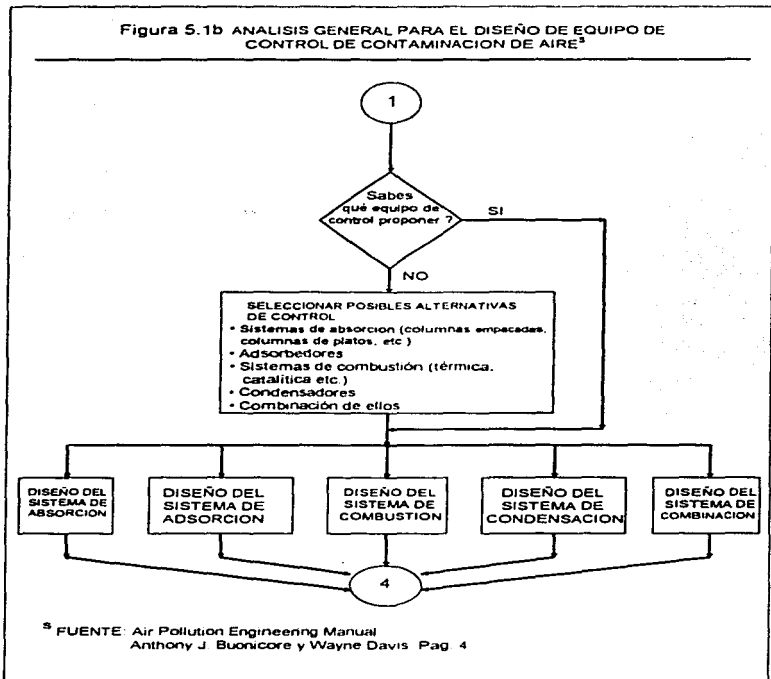


Figura 5.1c ANALISIS GENERAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE<sup>5</sup>

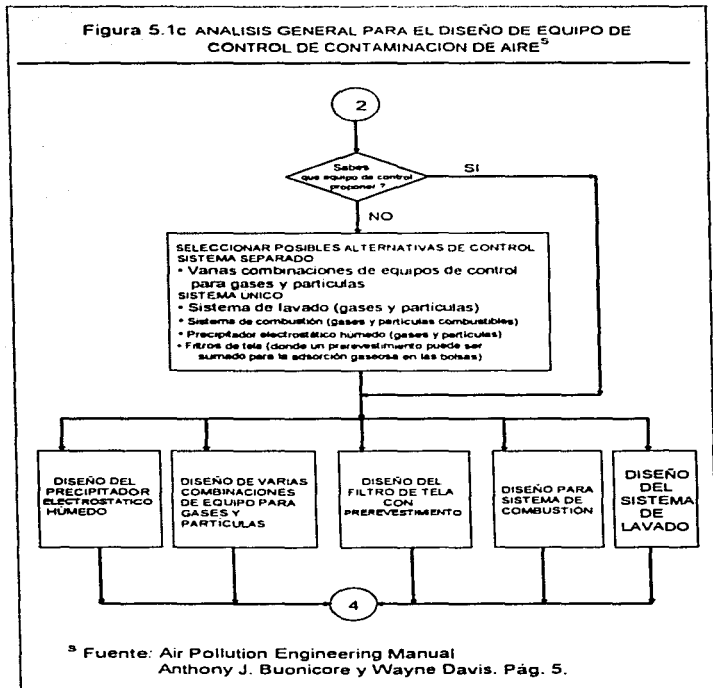
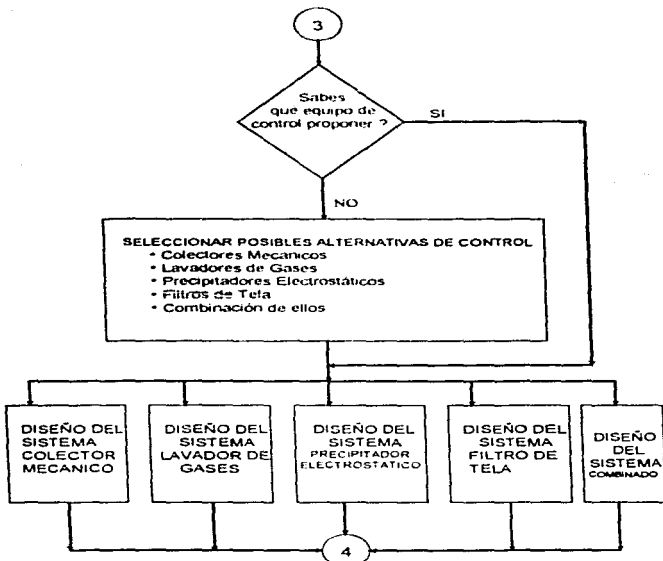
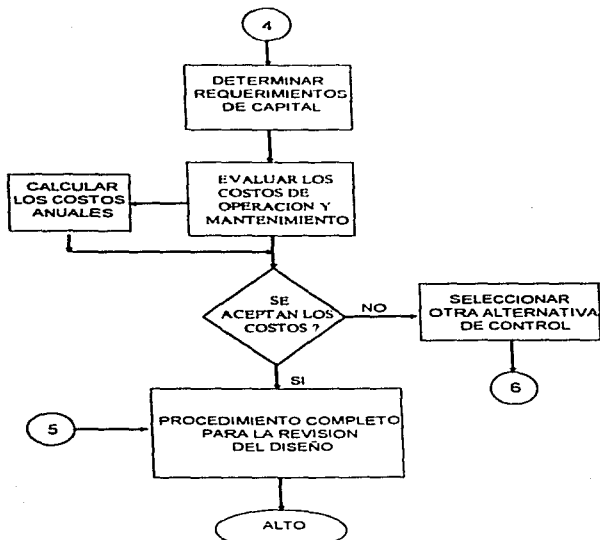


Figura 5.1d ANALISIS GENERAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRES



<sup>5</sup> Fuente: Air Pollution Engineering Manual  
Anthony J. Buonignore y Wayne Davis. Pág. 6.

Figura 5.1e ANALISIS GENERAL PARA EL DISEÑO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AIRE<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Fuente: Air Pollution Engineering Manual  
Anthony J. Buonignore y Wayne Davis. Pág. 7.

### 5.9 MEDICION Y MECANISMOS PARA LA RECOLECCION DE POLVO

Para determinar el grado o la justificación para las mediciones de control del polvo, a menudo es necesario evaluar la concentración y las características del dispersoide de polvo. Los polvos se originan casi siempre en la desintegración mecánica de la materia, y se pueden volver a dispersar de la condición asentada o sedimentada, por medio de un chorro de aire. Los humos son dispersoides con tamaños menores que la micra, que se forman por procesos como combustión, sublimación y condensación. Una vez que se recogen, no se pueden redispersar de la condición sedimentada por medio de chorro de aire o con equipos de dispersión mecánica.

Las fuerzas o los mecanismos que se emplean para la recolección de polvos se clasifican como sigue:

- 1 Sedimentación por gravedad
- 2 Deposition inercial
- 3 Intercepción de la línea de flujo
- 4 Deposition por difusión
- 5 Deposition electrostática
- 6 Precipitación térmica
- 7 Aglomeración sónica

En el muestreo de gases de proceso, para determinar la concentración de polvos o para obtener una muestra de polvo representativa, es necesario tomar precauciones para evitar la segregación de las partículas por inercia. Para evitar este tipo de clasificación, quizá se requiera un ducto transversal y, en cada punto, la boquilla de muestreo puede dar la cara directamente a la corriente de gas y la velocidad en la entrada de la boquilla deberá ser igual que la velocidad normal del gas en dicho punto. Este proceso es lo que se conoce como "muestreo isocinético". Si la velocidad de muestreo es demasiado alta, la muestra de polvo contendrá una concentración menor que la existente en la corriente principal y el mayor porcentaje corresponderá a partículas finas, si la velocidad de muestreo es demasiado baja, la muestra de polvo contendrá una mayor concentración y el mayor porcentaje corresponderá a partículas gruesas.

Para el objetivo de este trabajo se tomara el muestreo isocinético realizado a la incineración de los residuos sólidos hospitalarios, para seleccionar los criterios de diseño del equipo auxiliar de control de emisiones al aire del incinerador propuesto.

## 6 Criterios de Diseño del Equipo Auxiliar de Control de Emisiones al Aire

### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL INCINERADOR PROPUESTO

En los últimos años en el ámbito de la ecología, es de atención mundial, el manejo de los residuos en instalaciones de salud, principalmente debido a los acontecimientos de contaminación al ambiente por el incremento de éstos. En los países europeos, el tratamiento de residuos generados en instalaciones de salud, ha sido hasta la fecha con la tendencia a utilizar los procesos térmicos (incineración), porque se tiene prohibido la disposición de los residuos infecciosos en rellenos sanitarios, la calidad para disponer residuos implica entregarlos inocuos, debido a estas restricciones de los rellenos sanitarios están acelerando el interés en la incineración de los residuos médicos.

Las características heterogéneas de los residuos hospitalarios, se forma de muchos objetos de diferentes tamaños y materiales, además las actividades diarias y procedimientos en un hospital pueden cambiar drásticamente de un día a otro, de este modo dificulta predecir lo que se generará.

Existe poca información disponible de la composición de los residuos hospitalarios, esto puede deberse al hecho de que la cantidad de muestras y el número de análisis químicos requeridos para obtener la información de la caracterización representativa de la generación, pero se puede establecer una clasificación precisa que debe ser a partir del origen, combustibilidad, carácter orgánico, putrescibilidad o peligrosidad.

Para la disposición final de estos tipos de residuos se propone la incineración para eliminar los elementos tóxicos presentes en el residuo, así como la reducción de los mismos. En resumidas cuentas, el propósito de la eliminación de los residuos sólidos hospitalarios biológicos-infecciosos o patológicos, es evitar que la población tenga contacto directo con ellos, pues se pueden presentar cuadros de contagio, de enfermedades, y la propagación de una epidemia o enfermedad colectiva de graves consecuencias.



Para las corridas de incineración de los residuos se utilizará un incinerador modelo 3SC600 comercializado en México con el nombre de SUN CLEAN, que son fabricados en Japón por la compañía SHIN NIHON KANSOKI CO LTD, empresa fundada en 1990. Es un incinerador de altísima tecnología, de una combustión controlada, dotado de dos cámaras diferentes, una de pirólisis y otra de postcombustión. El proceso de pirólisis se realiza en la primera cámara y consiste en una combustión lenta y controlada de los residuos debido a la alimentación de oxígeno en exceso. En la cámara primaria se tienen dos quemadores, uno situado en la parte inferior del horno, que incinera los residuos con gran contenido de humedad y para los residuos secos y/o de poca densidad, utiliza el quemador situado en la parte superior del horno. Los gases generados en el horno primario durante la pirólisis se conducen a la cámara secundaria (reactor térmico), donde un exceso de aire que se obtiene a partir de la extracción de la cámara primaria, hasta conseguir un porcentaje de oxígeno libre del 6% como mínimo (según legislación actual), y a una alta temperatura se oxidan totalmente los productos finales de la combustión. Este incinerador tiene la versatilidad de poderse manejar de manera automática o manual.

Esquemáticamente la función básica cronológica del incinerador es la siguiente:

- 1) Carga del residuo en el horno primario
- 2) Encendido del quemador secundario, con el fin de que se caliente la cámara secundaria antes de empezar a recibir los gases de combustión. Este encendido deberá realizarse entre 10 y 15 minutos antes de comenzar la incineración de los residuos en el horno primario, y continuará su función hasta 30 ó 60 minutos después de finalizar la misma.
- 3) Encendido del quemador primario, con lo que comenzará la incineración de los residuos en el horno primario, pasando los humos a la cámara secundaria, donde serán incinerados por el quemador secundario
- 4) Como ya hemos comentado anteriormente, para controlar los niveles de oxígeno en ambas cámaras y facilitar la circulación de los humos, un generador de aire extrae este de la cámara primaria y lo inyecta a la cámara secundaria, creando un "efecto Venturi"
- 5) Para regular la temperatura de incineración en la cámara primaria esta ubicado un inyector de agua que entra en funcionamiento cuando la temperatura excede el nivel programado en el termostato del panel de control. La temperatura de salida final de los gases, por la chimenea, se indica en todo momento en el panel de control, este dato, junto con la temperatura de incineración en la cámara primaria, se utiliza para ajustar el funcionamiento en modo manual o bien para programar consecuentemente, según el tipo de residuo, en modo automático

Una vez concluida la incineración y total conversión de los residuos a cenizas, estas son removidas del interior del incinerador mediante un sistema de extracción neumático-mecánico, si las cenizas quedan en lugares difíciles de alcanzar, se remueven con palas, bidets y rastrillos, para posteriormente ser extraídos mediante el sistema anteriormente descrito.

Las cenizas son depositadas en tambores metálicos comerciales de 200 litros de capacidad, una vez que se han llenado los tambores, se tapan herméticamente y se confinan en una parte de la planta expresamente destinada para ello, posteriormente las cenizas dentro de los tambores es analizada para determinar su contenido ( análisis CRETIB); si resultan residuos peligrosos se enviarán a un confinamiento de residuos peligrosos; si son no peligrosos, serán enviados a un confinamiento de residuos industriales no peligrosos o a un relleno municipal, según lo determinen las autoridades correspondientes.

Antes del diseño y/o la selección del equipo de control de emisiones contaminantes es necesario realizar un análisis tanto cualitativo como cuantitativo de la descarga de contaminantes producidas por el proceso. Si la unidad de control esta bien diseñada con base al empleo de los datos de emisiones y de los requerimientos reglamentados como límites máximos de salida; la mayor parte de los contaminantes se puede controlar.

El muestreo es la clave del análisis de la fuente de emisiones contaminantes y se realiza para medir las cantidades de partículas y gases de salida, así como para medir la eficiencia del dispositivo de control de emisiones de contaminantes y para guiar al diseñador del equipo de control de la contaminación, para el objetivo de este trabajo se considerarán las mediciones realizadas al incinerador modelo 3SC600 que se presentan en la Tabla (6.1).

TABLA 6.1 RESULTADOS DE LA EVALUACION ISOCINETICA DEL INCINERADOR\*

PARAMETRO	INCINERADOR MODELO 3SC600 Residuo Biológico-Infeccioso		PROMEDIO
	1 <sup>ra</sup> Corrida	2 <sup>da</sup> Corrida	
Vc (Ft <sup>3</sup> )	61.2274	57.48	59.3537
Tm (°R)	567.708	579.54	573.624
Pm (°Hg)	23.2329	23.2093	23.2211
F.G.H.	0.063838918	0.057892092	0.060865505
F.G.S.	0.9366161082	0.942107908	0.939134495
P.M.F.S. (g/mol)	27.48456597	27.63956181	27.56206389
P.M.F.H. (g/mol)	1.149100528	1.04205765	1.095579089
Tch (°R)	1310.291	1315.491	1312.891
Pch (°HG)	23.03786708	23.03676008	23.03731358
Vch (ft/seg)	55.3636855	52.51320564	53.93843709
l %	99.58868798	96.23397488	97.91133143
Csbs (m <sup>3</sup> /min)	22.56969513	21.45746623	22.01358068

\* Fuente: Consultores para el Mejoramiento Ambiental.

Nomenclatura presentada en la tabla de la evaluación del incinerador 3SC600:

$T_m$  °R = Temperatura en el medidor  
 $P_m$  "Hg = Presión en el medidor  
F.G.H. = Fracción de gas húmedo  
F.G.S. = Fracción de gas seco  
P.M.F.H. g/mol = Peso molecular de la fracción húmeda  
P.M.F.S. g/mol = Peso molecular de la fracción seca  
 $T_{ch}$  °R = Temperatura en chimenea  
 $V_{ch}$  Ft/seg = Velocidad de los gases en chimenea  
I % = Isocinetismo  
 $Q_{sbs}$  m<sup>3</sup>/min = Determinación del factor de concentración

## 6.2 LAVADORES

Los lavadores representan una clase de equipos para eliminar polvos y nieblas de gases en que un líquido, que casi siempre es agua, se agrega o se hace circular para ayudar en el proceso de recolección. Existe una gran variedad de unidades comerciales disponibles.

En el Capítulo anterior se analizaron los diferentes mecanismos que permiten separar dispersoides de los gases por lo que en este Capítulo se reducirá su análisis a tres mecanismos: por inercia, por difusión e intercepción. Estos mecanismos se caracterizan por los grupos adimensionales denominados números de separación; cuanto más alto es el valor del número de separación, tanto más eficaz es el mecanismo.

Hay varios investigadores que han evaluado las contribuciones relativas de cada mecanismo y concuerdan en que los colectores que funcionan con velocidades que sobrepasan 1 pie/segundo, el mecanismo predominante es el de impacto por inercia. Los otros dos son considerados como parámetros modificadores que en algunas ocasiones pueden contribuir en grado significativo. Por ejemplo, la difusión es efectiva para partículas con tamaños menores que 0.1 micras, cuando la velocidad entre la partícula y el cuerpo colector es pequeña. La intercepción puede adquirir importancia cuando la trayectoria de la partícula se ve obstruida por un gran conjunto de cuerpos colectores de diámetros similares al de la partícula. Los efectos combinados de la difusión y la intercepción tienen una gran importancia, en la mayoría de las aplicaciones de lavadores en comparación con el mecanismo de inercia.

### 6.2.1 SELECCION DEL TIPO DE LAVADOR

La selección del tipo de lavador que se va a utilizar depende principalmente de

- a) El tamaño de la partícula dispersoide que se desea separar.
- b) La eficiencia de recolección buscada
- c) La caída de presión permisible

Los tipos más simples de lavadores con bajas caídas de presión son apropiados para los dispersoides gruesos, en tanto que las partículas a nivel submicra requieren lavadores con grandes caídas de presión

Algunas consideraciones especiales que afectan la selección de los lavadores, así como los errores que se deben evitar son los siguientes:

- I. Absorción de gas El proceso para extraer por lavado vapores y otros constituyentes gaseosos requiere, por lo común, un tratamiento especial a contracorriente, con un tiempo de contacto apreciable, y para este fin, el lavador de lecho empacado es de gran utilidad. En los casos en que el vapor que se desea separar sea muy soluble, se pueden emplear lavadores de corriente paralela, como los de venturi o los de orificio
- II. Taponamiento. La concentración de sólidos pesados (mayores de 20 granos/pie<sup>3</sup>) pueden llevar en ocasiones al taponamiento de casi todos los lavadores, excepto los de tipo más abierto. Por esta razón, conviene usar una torre de rociado o de amortiguamiento que posea grandes superficies abiertas, como un dispositivo de prelimpieza, a fin de evitar el taponamiento de un lavador secundario que tengan pasos de flujo pequeños. Algunos lavadores tienen una base de torre de rociado para este propósito
- III. Rearrastré Algunos lavadores comerciales tienen dispositivos de separación de arrastré poco eficaces y, por tanto, son capaces de separar su propio arrastré. Esto puede ser desastroso cuando el líquido de lavado contiene sustancias como ácidos, pigmentos y tinturas. Es buena práctica efectuar una prueba, a menos que se haya demostrado previamente que el diseño ha sido eficaz en el pasado
- IV. Precipitación del condensado de columna Otro problema, que puede causar deficiencias en el rendimiento del lavador resulta de la condensación de vapor dentro de la porción corriente abajo de la columna del mismo. Esta película de condensado recoge algunos dispersoides que se escapan del lavador. Si la velocidad de los gases de columna es elevada, la película de condensado se sopla, de manera que sale de la columna, produciendo una precipitación de lechada. La velocidad del gas por encima del nivel al que se sopla esta película varía con la densidad del gas y lo liso que sean las paredes de la columna, pero la mayoría de los diseñadores opinan que dicha velocidad debe ser inferior a 20 pies por segundo, a fin de evitar este problema.

### 6.2.2 LAVADOR VENTURI

El lavador venturi es un canal de flujo rectangular o circular que converge a una garganta de sección estrecha y luego diverge nuevamente a su área original en la sección transversal. En esta sección convergente, el trabajo de flujo asociado con el fluido se convierte en energía cinética, con una disminución concomitante de la presión estática y un aumento de la velocidad.

### 6.2.3 VARIABLES DE DISEÑO DEL LAVADOR VENTURI

Para el diseño del lavador venturi se pueden seleccionar tres posibles alternativas:

- 1) Cuando se tiene experiencia previa con una aplicación análoga y no se dispone de datos del efuente de la planta.
- 2) Realizar las pruebas en la fuente uno mismo para determinar los parámetros necesarios para el diseño.
- 3) Disponer de suficientes datos del sistema como son:  
 Características de la corriente gaseosa, características y distribución de las partículas, flujo de la corriente gaseosa, y temperatura. Como criterio de diseño para este trabajo se utilizará esta alternativa.

#### 6.2.3.1 FLUJO DEL SISTEMA GASEOSO

El flujo de gas que puede manejar un lavador húmedo varía desde 1,000 a 100,000 pies cúbicos a condiciones actuales, tal como se puede ver en la Tabla (6.2)

TABLA 6.2 APLICACIONES TÍPICAS DEL LAVADOR VENTURI\*

FUENTE (INCINERADOR)	TIPO DE LAVADOR	FLUJO (ACFM)	CAIDA DE PRESIÓN (PULG-H <sub>2</sub> O)
RESIDUOS PELIGROSOS	Venturi de alta energía con torre empacada	1,000-100,000	45-50
RESIDUOS HOSPITALARIOS	Venturi de alta energía	1,000-100,000	45-50
RESIDUOS LIQUIDOS	Venturi de alta energía con torre empacada	500-40,000	40-50
RESIDUOS GASEOSOS	Torre empacada	1,000-100,000	5-15

\* FUENTE: Air Pollution Engineering Manual  
 Anthony J. Buoncore, Wayne Davis.

### 6.2.3.2 CAIDA DE PRESION

Un método para estimar la caída de presión en un lavador venturi, deducida por colvert y colaboradores, se basa en un modelo en que toda la pérdida de energía de la corriente de gas se emplea para acelerar las gotas del líquido hasta la velocidad del gas en la garganta del venturi.

Si se efectúa un equilibrio entre las fuerzas sobre un elemento de longitud  $dx$  en la dirección del flujo en la garganta del venturi, se observa que:

$$dp = -\rho_L u_G (Q_L / Q_G) du_D \quad (6.1)$$

Donde  $u$  es una velocidad,  $Q$  es un gasto volumétrico,  $L$  y  $G$  representan, respectivamente, el líquido y el gas.  $D$  representa la gota. Integrando desde  $x = 0$  (el punto de inyección del líquido) donde se ha supuesto que la velocidad de la gota en la dirección de  $x$  es igual a cero, se observa que

$$\Delta p = -\rho_L u_G (Q_L / Q_G) u_{D2} \quad (6.2)$$

Donde  $u_{D2}$  es la velocidad de la gota, corriente abajo en la distancia  $x_2$ . A fin de determinar la caída de presión para una longitud dada de la garganta, será necesario encontrar una relación entre  $u_{D2}$  y  $x_2$ .

Entre las suposiciones que se hicieron a fin de modelar el flujo en la garganta del venturi, están:

- 1) la velocidad  $u_G$  del gas es constante e igual a la de la garganta.
- 2) el flujo es unidimensional, incompresible y adiabático.
- 3) la fracción líquida del flujo es pequeña en cualquier sección transversal.
- 4) la evaporación de las gotas es despreciable, de modo que  $d_D$  es constante.
- 5) las fuerzas de presión alrededor de la gota son simétricas y, por tanto, se anulan. Sobre esta base, se efectúa un equilibrio entre fuerzas actuando sobre una gota; esto es, la suma de las fuerzas de inercia y de arrastre actuando sobre la gota se hacen igual a cero.

Basándose en una correlación de datos experimentales de muchos lavadores venturi diferentes, Hesketh dedujo la siguiente ecuación para la caída de presión a través de un lavador venturi:

$$\Delta P = V^2 \rho_G A^{0.133} L^{0.75} / (1270) \quad (6.3)$$

Donde:

$\Delta P$  = es la caída de presión a través del venturi, en pulgadas de agua

$V$  = Velocidad del gas en la garganta, en pies por segundo

$\rho_G$  = Densidad del gas corriente abajo de la garganta del venturi, (lb/ft<sup>3</sup>)

$L$  = Relación de líquido a gas, en gal/1,000 Ft<sup>3</sup> actuales

### 6.2.3.3 TEMPERATURA

Cuando la temperatura es excesiva, es necesario reducirla al índice más aconsejable para el equipo desde el punto de vista de la eficiencia de la inversión de capital y de los costos de operación. Los costos deben incluir cualquier equipo instalado para enfriar controladamente el gas; para el enfriamiento, se logra por tres métodos.

1. Mezclado con aire atmosférico
2. Introducción de agua atomizada, que provoca enfriamiento por evaporación
3. Extracción indirecta de calor, tal como en las calderas de calor residual

Cabe mencionar que cualquier método empleado afecta considerablemente el volumen final del gas, que el aparato de limpieza ha de tratar. Esto significa que el volumen de gas varía desde el 30% del volumen original cuando se enfría por extracción de calor indirecta, hasta un 200% del volumen original cuando se enfría por introducción de aire; la inversión de capital para el equipo, cuando se utiliza la introducción de aire, es varias veces superior al necesario, cuando se emplea extracción de calor indirecta. En muchos procesos, en determinadas aplicaciones más pequeñas y procesos cíclicos, la extracción de calor indirecta no se considera viable o económica, y se logra el enfriamiento del gas por pulverización de agua finamente atomizada, que se evapora por completo, y deja el gas a una temperatura apropiada para el aparato de limpieza de gases. Esta tiene un efecto al reducir la demanda de agua, puesto que cuanto más alta es la temperatura inicial, más elevada es la temperatura del gas que abandona el aparato de limpieza de gases y, tanto mayores son las cantidades de agua arrastradas en forma de vapor, puesto que el gas está saturado a la temperatura de saturación adiabática (la cual usualmente se encuentra en un rango entre 150 a 200 °F)

#### 6.2.3.4 EFICIENCIA

La eficiencia colectora está directamente relacionada con el consumo de energía, y por lo tanto a la pérdida de presión.

Como la eficiencia colectora por impactación aumenta con el aumento en la velocidad relativa, son esenciales las altas velocidades de entrada del gas.

Ya se ha demostrado que la aceleración de las gotas del líquido es una función de su diámetro. Si se usa como criterio la distancia  $x$  necesaria para acelerar una gota a 90 por ciento de la velocidad del gas, se tiene entonces, como una aproximación:

$$x_1 / x_2 = 2d_1 / d_2 \quad (6.4)$$

Donde 1 y 2 representan dos tamaños diferentes y  $d_1 > d_2$ . Considerece una gota de 100  $\mu\text{m}$  inyectada normalmente a una corriente de gas de 100 pie/ segundo. Se observa que la gota alcanzaría 90 por ciento de la velocidad del gas en aproximadamente 16 pulgadas. Se puede determinar de la ecuación anterior que una gota de 50  $\mu\text{m}$  llegará a la misma condición en 4 pulgadas. Se puede obtener una inferencia importante de dichos datos: si una alta velocidad relativa entre la partícula y la gota de líquido es un requerimiento básico para eficiencias de impactación altas, la mayor parte de la remoción por impactación debe entonces tener lugar dentro de las primeras pulgadas de la sección divergente. La longitud añadida es necesaria para la adecuada recuperación de la presión, pero influye poco en la eficiencia total del blanco. Mientras más larga sea la longitud (L) de la garganta más alta será la eficiencia de colisión del lavador.

A pesar de que los medidores venturi han disfrutado de amplia aplicación con el propósito de remover partículas de las corrientes de gas, se carece de ecuaciones de diseño confiables para la eficiencia colectora, sin embargo, la ecuación más ampliamente usada es aquella sugerida originalmente por Johnstone y otros

$$E = 1 - e^{-K' + K'L} \quad (6.5)$$

Donde:

E = Eficiencia fraccionaria

$K'$  = Parámetro de impactación inercial (adimensional)

L = Relación de gas a líquido gal/1,000acf

K = Coeficiente de correlación, depende de la geometría del sistema y condiciones de operación (típicamente 0.1-0.2 acf/gal)



El término de  $\eta$  esta dado por:

$$\eta = C d_p \rho_p V / 9 \mu_G d_G \quad (6.6)$$

Donde:

- $d_p$  = Diámetro de la partícula, en pies
- $\rho_p$  = Densidad de la partícula, en libras por pie cúbico
- $V$  = Velocidad en la garganta
- $\mu_G$  = Viscosidad del gas (lb/Ft-seg)
- $d_G$  = Diámetro promedio de la gotita, en micrometros
- $C$  = Factor de corrección de Cunningham

Los valores para el factor de corrección de Cunningham, normalmente en cálculos del lavador es omitido, pero el efecto se vuelve más pronunciado cuando el tamaño de partículas es menor de 1  $\mu\text{m}$ .

A fin de que un dispositivo colector alcance dichas eficiencias, las gotas cargadas de polvo se deben eliminar de la corriente de gas, después de pasar por el lavador venturi. Un método usual para obtener esta eliminación, consiste en hacer pasar la corriente de gas a través de un separador ciclónico en serie con el paso del venturi. Otra técnica hace pasar el gas procedente del venturi a través de un techo empacado fluidizado.

#### 6.2.3.5 TAMAÑO DE PARTICULA

La eficiencia colectora de partículas puede llegar al 99 por ciento en el intervalo de los submicrones, y al 99.9 por ciento para las partículas de 5  $\mu\text{m}$ .

Se supone normalmente que las partículas finas entran a la garganta del venturi con una velocidad igual a la de la corriente de gas. La colección de las partículas finas por las gotas del líquido se lleva a cabo por el impacto por inercia durante el tiempo en que se aceleran las gotas; según la velocidad de la gota se acerca a la del gas, y la velocidad relativa entre la partícula y la gota se acerca a cero, la probabilidad de la impactación por inercia corriente abajo de la garganta disminuye rápidamente.

### 6.2.3.6 RELACION AGUA - GAS

El gasto de agua en un lavador venturi varía desde 2 a 15 galones por cada 1000 pies<sup>3</sup> de gas. Pero la pérdida de presión resulta más significativa para este dispositivo, si se compara con otros colectores secos y húmedos. La acción de lavado ocurre durante la introducción de agua, ya sea en la sección de la garganta (recomendada), o al comienzo de la sección convergente. Un banco de boquillas a cada lado de la garganta inyecta agua a la corriente gaseosa de alta velocidad. El líquido de lavado también se puede inyectar en la corriente de gas, a través de ranuras o, en algunos casos vertederos situados a cada lado del venturi. Se supone que las gotas del líquido de lavado no tienen inicialmente velocidad axial, y que se aceleran a través del venturi por el arrastre aerodinámico de la corriente del gas.

La necesidad común de dispersar un líquido en un gas dio origen a una enorme variedad de dispositivos mecánicos, las aspersiones tienen su interés práctico en la atomización para la combustión, la transferencia de masa y calor o el recubrimiento de superficies.

En su forma más simple, un gas choca contra un chorro sólido de líquido. El líquido de lavado atomiza a costa de cierta cantidad de energía cinética del gas. Se han hecho un gran número de estudios experimentales de este sistema, y los investigadores están de acuerdo al atribuir una importancia mayor, a la velocidad relativa, que se sugiere en otros atomizadores; también descubrieron en general una disminución fuerte del tamaño de las gotitas al aumentar la densidad del gas; además varias correlaciones de tamaños de gotas muestran una dependencia de la relación gas a líquido.

La ecuación de Nukiyama-Tanasawa da el diámetro medio de volumen/ superficie de una neblina generada en un atomizador de orificio para dos fluidos, que en este caso es agua y aire, esta dado por la siguiente ecuación.

$$D_o = 16,400 / V + 1.45(L)^{1/3} \quad (6.7)$$

Donde:

$D_o$  = diámetro medio de la gotita de agua  $\mu\text{m}$

$V$  = velocidad relativa ft/min

$L$  = relación de líquido a gas (gal/1.000acf)

Como criterio de diseño para obtener este diámetro promedio de tobera se consideró un orificio máximo de líquido de solo 2 mm, y una relación de  $Q_L/Q_G$  de (hasta 0.25); predice los valores de  $D_o$  como los que se señalan en la Tabla (6.3).

TABLA 6.3  
TAMAÑO DE PARTICULAS DE LAS GOTITAS  
GENERADAS EN UN LAVADOR VENTURI\*

VELOCIDAD DEL AIRE (ft/s)	D <sub>0</sub> TAMAÑO MEDIO DE GOTITAS (μ)	TAMAÑO DE PARTICULAS DE POLVO QUE SE PUEDE LAVAR
5	366	>5
100	205	>2
200	125	>1
400	72	SUBMICRAS
600	58	SUBMICRAS

\* Fuente: Biblioteca del Ingeniero Químico  
Robert H. Perry Cecil H. Chilton quinta edición.

Estos valores se obtuvieron considerando la razón de líquido a gas de 10 gal/1000 pies<sup>3</sup>.

### 6.2.3.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales para la construcción del lavador venturi, son generalmente seleccionados en base a la naturaleza del sistema, como son la corrosividad, temperatura y la erosión; pero los materiales son entre otros, acero al carbón, acero inoxidable, acero con aleación de níquel, acero recubierto de cerámica.

### 6.2.4 VARIABLES DE OPERACION

#### 6.2.4.1 RECOLECCION DE LAS PARTICULAS EN LAS GOTITAS DE AGUA

1. El flujo de gas pasa a través de un ducto, a donde se incorpora un lavador venturi.
2. El rango de velocidad de la corriente gaseosa en la garganta del venturi es del orden de 200 a 800 pies por segundo.
3. El rociado de agua es introducido en la garganta del venturi, de manera radial, en una relación de 2 a 15 galones por cada 1,000 pies cúbicos de gas.
4. Las altas velocidades del flujo gaseoso en la garganta del venturi, produce una atomización del rociado de agua, en finas gotitas.
5. Durante la atomización de las gotitas de agua, se aceleran rápidamente con la velocidad de la corriente gaseosa, y durante este pequeño periodo las velocidades relativas son muy altas y las colisiones entre las gotitas y las partículas son muy efectivas.

#### 6.2.4.1.1 SEPARACION DE LAS GOTITAS DE AGUA SUCIA

1. Al pasar el flujo gaseoso a través de la garganta se formaron aglomeraciones de gotitas de agua cargadas de partículas y al disminuir su velocidad en la zona divergente del venturi, se van separando de la corriente gaseosa
2. Las grandes aglomeraciones son removidas por un separador ciclónico.

#### 6.2.4.2 EFICIENCIA

##### 6.2.4.2.1 EFECTOS DE LA CAIDA DE PRESION SOBRE LA EFICIENCIA

1. La eficiencia para la separación de partículas, en el venturi es directamente proporcional a la caída de presión
2. Las caídas de presión a través del lavador venturi, esta en un rango de 5 a 100 pulgadas de agua
3. La caída de presión puede ser incrementada, para aumentar la eficiencia del lavador, mediante dos mecanismos:
  - a) aumentando la velocidad del flujo gaseoso en la garganta del lavador
  - b) aumentando la relación de agua inyectada en la garganta del venturi

##### 6.2.4.2.2 EFECTOS DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS EN LA EFICIENCIA

1. Si el número de gotitas de agua se mantiene constante, y el número de partículas (concentración) se incrementa, el número de colisiones se incrementa. En otras palabras, la eficiencia se incrementa con la concentración.
2. Un incremento en la concentración no siempre aumenta la eficiencia, si las partículas no tienden aglomerarse, aunque aumenten las colisiones entre las partículas y las gotitas de agua.
3. El lavador venturi tiene una eficiencia del 99.9% para todas las partículas con un diámetro mayor de 5 micras

## 6.2.5 ALGORITMO DE CALCULO PARA EL LAVADOR VENTURI

## 6.2.5.1 DATOS REQUERIDOS

1. Flujo de la corriente gaseosa  $Q_g$ , acfm
2. Contenido de humedad  $M_w$  %
3. Temperatura °R
4. Eficiencia de colección requerida  $E$  %
5. Diámetro medio de partícula  $D_p$   $\mu\text{m}$
6. Concentración de partículas  $C_c$   $\text{mg}/\text{m}^3$
7. Contaminante peligroso en el aire

## 6.2.5.2 VARIABLES DE DISEÑO DEL LAVADOR VENTURI (ver la Sección 6.2.3)

## 6.2.6 RESULTADOS PARA EL DISEÑO DEL LAVADOR PROPUESTO

TABLA 6.4  
RESULTADOS PARA EL DISEÑO DEL LAVADOR VENTURI

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
$D_{CH}$ Ft	Diámetro de chimenea	1.03333
$D_G$ Ft	Diámetro de garganta	0.522321
$V_G$ Ft/seg	Velocidad en la garganta	500
$T_{SAT}$ °R	Temperatura de saturación	620
$Q_{AGUA}$ gal/1,000acf	Flujo de agua	10
$d_o$ $\mu\text{m}$	Diámetro de la gota de agua	78.65
$\rho_a$ lb/ft <sup>3</sup>	Densidad	0.04937
$\Delta p$ pulg de agua	Caida de presión	47.7109
$\mu_a$ lb/ft-seg	Viscosidad	$2.4865 \times 10^{-5}$
$D_p$ $\mu\text{m}$	Diámetro de partícula	1
$E$ %	Eficiencia	96.34

### 6.3 FILTROS DE TELA

La filtración es uno de los métodos más antiguos y de uso más generalizado para la separación de partículas del gas que lo transporta. En general, un filtro es cualquier estructura porosa compuesta de material granular o fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que lo arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. El filtro se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas, y se puede disponer en lechos profundos, colchones o telas. Los filtros de tela se forman generalmente dentro de tubos cilíndricos y se cuelgan en hileras múltiples para proporcionar grandes áreas superficiales para el paso del gas.

De los siete mecanismos generales para la colección de partículas comentadas en el Capítulo anterior, los mecanismos importantes de filtración son: impactación por inercia, intercepción directa y difusión. La atracción electrostática puede tener un papel importante con ciertos tipos de polvos. Las partículas mayores de  $1\ \mu\text{m}$  se coleccionan principalmente por impactación e intercepción directa, mientras que las partículas entre  $0.001$  a  $1\ \mu\text{m}$  se remueven principalmente por difusión y atracción electrostática. Las magnitudes relativas del polvo recogido por los diferentes mecanismos no se pueden calcular en este momento, y es necesario realizar investigaciones adicionales en dicha área.

Por lo general, el gas impuro entra en la bolsa desde abajo y pasa a través de la tela, mientras que las partículas se depositan en interior de la bolsa. A pesar de que existe una amplia variedad de diseños para las casas de bolsas, en general se pueden clasificar por el método de limpieza y por su operación, que puede ser periódica (o intermitente) y automática continua, cerrar partes de la casa de bolsas, a intervalos regulares, para proceder a la limpieza. La operación automática continua se requiere cuando no sea deseable o práctico el cierre periódico. La operación intermitente requiere detener totalmente el proceso a fin de limpiar la tela de los filtros, el gas impuro deja de pasar por el equipo durante el ciclo de limpieza. Este tipo de diseño tiene un uso limitado, ya que son muy pocos los efluentes que se pueden descargar a la atmósfera.

Hay dos clases generales de filtros de bolsas y las dos tienen eficiencias de recolección que ascienden a 99%, ambas son apropiadas también para operaciones totalmente automáticas. La primera de ellas, que es la más antigua, utiliza una tela de tejido plano más o menos delgada como medio de filtración y la segunda usa fieltro.

#### 6.3.1 FILTROS DE TELA DE TEJIDO PLANO

Al estar en operación, los gases cargados de polvo se hacen pasar por la tela de tejido plano que "filtra" el polvo, dando paso solo a los gases. En realidad, la separación no es una simple filtración, ya que los poros de la tela son, por lo común, muchas veces mayores que el tamaño de las partículas captadas. Cuando los gases cargados de polvo pasan inicialmente por la tela, la eficiencia de separación es reducida hasta que se han captado las suficientes partículas para construir lo que corresponde a un bloqueo parcial en los poros de la tela.

Esta deposición inicial de polvo se efectúa debido a la intercepción y al choque que tienen las partículas contra las fibras de la tela y debido a la sedimentación por gravedad y el movimiento browniano en los poros. Con los polvos que se encuentran normalmente en los procesos industriales, esta capa de precubrimiento se forma en unos cuantos minutos, aunque habitualmente es solo cuestión de segundos. Una vez que se constituye esta capa inicial, la eficiencia de separación asciende por lo común mas allá del 99%.

Aunque la filtración directa desempeña un papel mas importante en esta etapa, no es el único medio de separación ya que los poros del polvo captado pueden ser considerablemente mayores que algunas de las partículas de polvo separadas. En casos especiales, por ejemplo, el humo de tabaco fresco en una habitación, el tamaño de partículas y la concentración son tan reducidas que se necesitaría un tiempo excesivo para formar una capa de precubrimiento. Sin embargo, cuando no se logra una eficiencia de recolección muy notable, casi siempre se debe por completo al mantenimiento inadecuado del equipo, de fuentes como bolsas rotas, instaladas de manera deficiente o distendidas.

### 6.3.2 FILTROS DE TELA CON FIELTRO

Las clasificaciones de los filtros de tela de tejido plano están limitadas de 1 a 8 pies<sup>3</sup>/(min)(pie<sup>2</sup> de tela), debido a la acción de compactación de las velocidades superiores. Esto genera una gran caída de presión y, por último, la ruptura local de la torta de filtro, con lo cual se genera una penetración excesiva. El uso de fieltro, como medio de filtrado permite velocidades un poco mayores en algunos polvos, sin que se registre una penetración excesiva, ya que la torta de filtro desempeña un papel menos importante en la filtración en esta clase de colector, que el que se efectúa con los filtros de tejido plano, y su limpieza esta limitada a flujos inversos de aire de alta presión o por choques de impulsos a intervalos de tiempo mas cortos.

### 6.3.3 PROPIEDADES DE TELAS DE FILTRO

Para funcionar debidamente, una tela de filtro debe tener las propiedades siguientes:

#### 6.3.3.1 PERMEABILIDAD

La tela debe ser suficientemente porosa para permitir un flujo de aire satisfactorio. La permeabilidad de una tela esta generalmente expresada como el flujo de aire limpio en (ft<sup>3</sup>/min)/(ft<sup>2</sup> de tela a una presión de 0.5 pulgadas de columna de agua, así determinado por la prueba Frazier; sin embargo, la sola permeabilidad de Frazier no es una guía para la selección de la tela, porque materiales teniendo la misma permeabilidad, no pueden tener las otras características requeridas para filtrar con éxito un material específico, también la torta formada del filtro en la superficie de la tela reducirá el flujo de aire.

#### **6.3.3.2 RESISTENCIA MECANICA**

La tela debe resistir las fuerzas de tensión causadas por las presiones diferenciales de operación, por el sacudimiento mecánico durante la limpieza y por la vibración (pulsación), durante el flujo de aire opuesto. Debe resistir a la abrasión donde esta amontonada la capa del tubo a la abrazadera, donde esta apoyada en las rejillas de metal o dispositivos de retención, y es donde esta sometida a los impactos de los materiales filtrados.

#### **6.3.3.3 RETENCION DE SOLIDOS**

La construcción de la tela debe ser bastante abierta para prevenir la acumulación de polvos finos en los intersticios del hilado, aun bastante ceñida para prevenir los polvos finos, a partir del soplado a través de la tela. Esto puede parecer anómalo, pero la torta del filtrado sobre la superficie de la tela, también actúa como un medio de filtración y estrecha los intersticios.

#### **6.3.3.4 RESISTENCIA A LA CORROSION**

La tela debe resistir el ataque y debilitamiento debido a la acción química entre las fibras y los materiales filtrados, especialmente si la humedad esta presente debido a la condensación.

#### **6.3.3.5 RESISTENCIA TERMICA**

En algunos procesos, la tela debe resistir la temperatura alta de los gases de escape. Cada tela tiene un límite de temperatura definido fuera del cual tenderán a desintegrarse.

#### **6.3.3.6 CAPACIDAD DE LIMPIADO**

La tela debe tener una textura superficial que sea propicia para la liberación rápida de la torta del filtro durante la limpieza. Esto, también puede parecer anómalo; sin embargo, las fuerzas involucradas durante la limpieza, son normalmente el flujo de aire, en la dirección contraria al flujo del aire normal, y el doblado de la tela debe tener un alto nivel de disipación de carga electrostática para quitar las partículas de polvo cargadas.

#### **6.3.3.7 ESTABILIDAD DIMENSIONAL**

La tela debe resistir estiramiento o encogimiento que afectarían su permeabilidad después del lavado y planchado.



**6.3.4 VARIABLES DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE FILTRACION**

El diseño de la casa de bolsa de filtración depende de la tela seleccionada, el método de limpieza, de una adecuada relación de flujo de aire por área de tela utilizada para la filtración, configuración de la casa de bolsa y material de construcción

**6.3.4.1 TIPO DE TELA**

Los sistemas de casas de bolsa utilizan tela natural, o sintética, dependiendo de las características del sistema gaseoso, como son temperatura, acidez, alcalinidad, y las propiedades de las partículas.

Los primeros filtros de bolsas de tela eran, casi siempre, de algodón satinado. El algodón se sigue utilizando con mucha frecuencia, debido a su costo reducido, pero su uso se limita para aplicaciones a baja temperatura. En la actualidad se dispone de una gran variedad de telas. En la Tabla (6.5) se da una lista de algunas de las más comunes, junto con sus propiedades. Las primeras aplicaciones de los vidrios y los asbestos causaron grandes fallas en las bolsas; pero, hoy en día esas fibras se emplean con muy buenos resultados. Las telas de fibra natural pueden ser usadas cuando la temperatura del sistema gaseoso es menor a 200° F, y tienen una resistencia moderada a la acidez y alcalinidad contenida en el sistema gaseoso. Las telas de fibra sintética pueden operar hasta 550° F y generalmente tienen gran resistencia química. El costo inicial de las telas de fibra sintética es más grande en comparación con el costo de las telas de fibra natural. Cuando un gran número de telas son adecuadas para una aplicación específica, el costo relativo de la tela puede ser un buen criterio de decisión. En general las telas de fluorocarbono (teflón y fibra de vidrio) y nylon aromático (nomex) son las telas más caras. Comúnmente las telas más usadas de fibra sintética, que son menos caras son de propileno, polyester (dacron, creslan), acrílico (orlon), nylon poliamida (nylon 6, nylon 66), y acrílico modificado (dynel, verel); entre parentesis se encuentran los nombres comerciales.

TABLA 6.5 FIBRAS PARA TELA DE FILTRACION<sup>5</sup>

Fibra	Fabricante	Resistencia a la tensión	Resistencia a la tracción	Temperatura máxima de operación (°F)		Resistencia química		Inflamabilidad (resistente a la combustión)	Propiedades especiales	Clasificación química general
				100 horas	1000	ácidos	alcalis			
Acrylan	Monsanto	C	C	250	300	D	D	Si		Poliacrilonitrilo (acrílico)
Amel	Celanese Corp of America	E	E	250	300	D	D	Si	Resistencia al calor y las bacterias	Poliacrilonitrilo (acrílico)
Algodón	Fibra Natural	C	B	180	250	E	A	Si		Celulosa
Dacron	Du pont	A	A	275	350	B	C D	Si	Se degrada por calor y humedad	Poliéster
Darvan	B F Goodrich	C	E	310	320	B	D	Si	Funde por encima de 300 of Muy estable a 300 of	Nitrilo
Dynel	Union Carbide	C	C	180	240	B	A	No	Se distorsiona si se expone a temperaturas superiores de 180 of	Copolímero de acrilonitrilo y cloruro de vinilo
Kodel	Owens Corning Fiberglas Corp	A	F	500	1000	C	E	No	Los acabados limitan la gama de temperatura máxima	Vidrio
Vidrio	Eastman Chemical	C	C	275	350	B C	C D	Si	Estable al calor	Poliéster
Nylon 66	Du pont	A	A	230	250	E	A	Si	Se mantiene suave y tenaz cuando se expone al calor	Poliamida
Nylon 6	American Enka	A	A	200	250	E	B	Si		Poliamida
Orlon 42	Du pont	C	B	260	300	C	D	Si	La mejor fibra para estas temperaturas	Poliacrilonitrilo (acrílico)
Polyester o	Union Carbide	A	A	150	212	A	A	Si	Se ve afectada por algunos disolventes orgánicos	Poliéstereno
Polypropileno	Hercules	A	B C	160	160	A	A	Si	Excelente resistencia química	Polioléfina
Q557	Dow Chemical	C	X	250	240	B	B	No	Son cintas planas	Cloruro de vinilideno
Saran	Saran Yarn Co	D	C	150	200	A	B	No	Muy resistente pero limitada por temperatura	Cloruro de vinilideno
Teflon	Du pont	C	D	350	500	A	A	No	Resistente a la corrosión y cuando se expone a temperaturas superiores a 300 of pierde humos tóxicos	Fluorocarbono
Nomex	Du pont	A-B	A B	420	450	D	A	No	Notable resistencia a la temperatura	Poliamida aromática de nylon
Verel	Eastman Chemical	C	F	200	250	C	D	No	El verel FR posee mejor resistencia a la llama que la lana	Acrílico modificado
Lana	Fibra Natural	Húmeda a E	Húmeda a E	300	250	E	E	No	Se puede tejer como Fieltro	Proteínas

A = Excelente, B = Superior al Promedio, C = Bueno, Promedio, D =Regular  
E = Deficiente, X = desconocido

<sup>5</sup> Fuente: Biblioteca del Ingeniero Químico Robert H. Perry Cecil H. Chilton.

### 6.3.4.2 METODOS DE LIMPIEZA

La limpieza se efectúa en una diversidad de maneras, pero generalmente se utilizan tres mecanismos de limpieza

- **VIBRACION MECANICA O SACUDIMIENTO**

Los filtros mecánicos se encuentran como unidades comerciales estándares y comprenden dos grupos generales. Uno utiliza cubiertas de tela sostenidas por pantallas o bastidores, y el otro tipo emplea bolsas montadas verticalmente, ya sea ovaladas o redondas, que tienen por lo común diámetros de 5 a 8 pulgadas y longitudes de 8 a 18 pies. El acceso a las plataformas para el mantenimiento se prevé, casi siempre, del lado del aire limpio. Estas unidades se pueden sacudir manualmente, aunque, excepto en los tamaños más pequeños, por lo general están provistas de un motor para ello.

También es factible lograr una operación completamente automática, si se cuenta con un motor de tiempo, motor para sacudimiento y válvulas de descarga de gas operadas por aire o un motor.

En general, los filtros mecánicos tienen caídas de presión del orden de 2 a 6 pulgadas de agua, con un valor nominal de  $1 \text{ a } 8 \text{ ft}^3/(\text{min})(\text{ft}^2 \text{ de tela})$  y es conveniente reducirla a la mitad.

Para polvos muy finos y pegajosos, los filtros del tipo de bolsas son más apropiados que los de pantalla o cubierta, debido a los medios de sacudimiento más eficaces con que cuentan. Cuando las cargas de polvo son elevadas, conviene usar prelimpiadores de ciclón para reducir la carga impuesta al filtro.

Los filtros mecánicos ordinarios se pueden sacudir cada  $\frac{1}{4}$  a 8 horas, según el servicio que esté prestando. También es útil conectar un manómetro al filtro, para determinar cuándo se debe sacudir. Los filtros completamente automáticos se sacuden cada dos minutos; pero el mantenimiento de la bolsa se reducirá notablemente, si el tiempo de sacudimiento se aumenta a 15 o 20 minutos, sin desarrollar una caída de presión excesiva. Es esencial que el flujo de gas que pasa por el filtro se detenga durante el sacudimiento, para permitir que el polvo caiga. Cuando se trata de polvos muy finos, quizá sea necesario igualar la presión aplicada a la tela. En la práctica, esto se logra sin interrumpir la operación, cortando una sección del servicio en el momento dado. Cuando se trata de filtros automáticos, esta operación comprende lo siguiente: cerrar la compuerta de tiro, sacudir las unidades de filtrado, ya sea neumática o mecánicamente, lo cual debe ir acompañado, a veces, por un flujo inverso de gas limpio por el filtro y, por último, la reapertura de la compuerta de tiro. Para filtros automáticos que operan con aire comprimido, esta operación requiere sólo de 2 a 10 segundos. Para los filtros mecánicos comunes y corrientes, equipados para control automático, esta operación toma a veces hasta 3 minutos.

- FLUJO INVERTIDO DEL AIRE

En un filtro comercial para flujo de aire invertido, la limpieza se debe efectuar en forma continua o periódica, en respuesta a lo que indique la caída de presión o un cronómetro o medidor de tiempo, sin cerrar el flujo de gas, por medio de un anillo que se desplaza en sentido ascendente y descendente por la superficie externa de la bolsa. El aire comprimido se sopla a través de una ranura de 1/32 pulgada en el borde interno del anillo, a través de la tela del filtro y siguiendo una dirección opuesta al flujo del gas cargado de polvo. El anillo de soplado establece un contacto firme y penetrante en el fieltro, con lo cual ayuda a "sellar" dicho anillo, para que el chorro pase directamente por el fieltro. La acción de penetración sirve también para desalojar la capa de polvo. Estas bolsas se fabrican con fieltro de 1/16 a 1/8 de pulgadas de espesor con diámetros de 8 a 18 pulgadas y longitudes hasta de 19 pies. Las capacidades de manejo del gas son elevadas variando de 5 a 30 pies<sup>3</sup> / (min)(pie<sup>2</sup> de superficie de tela); pero en aplicaciones recientes se ha observado la tendencia a evitar razones de filtro superiores a 15. Así, pues, sucede que los colectores se están fabricando cada vez más en la gama de tamaños de 5 a 10 pies<sup>3</sup> / (min)(pie<sup>2</sup> de superficie de tela). La razón de ello es, una vez más, la caída de presión. Las grandes caídas de presión requieren una limpieza más frecuente, lo que genera un mantenimiento más intenso de la bolsa. La caída de presión no debe exceder de 6 pulgadas de agua. Se ha informado de cargas de polvo hasta de 2 lb de polvo/lb de gas, pero en la mayoría de las aplicaciones, las cargas de polvo de entrada son menores que 40 gramos de polvo/ft<sup>3</sup> de gas.

- CHOQUE DE IMPULSOS

En un filtro de choques de impulsos, el polvo se deposita en el lado externo de los tubos de fieltro, que tiene 4.5 pulgadas de diámetro por 6 u 8 pies de largo, que se ajustan sobre sujetadores de alambre. La limpieza de las bolsas se efectúa por medio de un pulso periódico de gas comprimido (100 lb/ pul<sup>2</sup>) que se descarga en sentido descendente, pasando por un tubo venturi, en la parte superior de la bolsa, e induce un flujo rápido del gas de procesamiento limpio nuevamente a través del tubo de fieltro. Esto sucede a la bolsa hacia afuera y descarga el polvo que cae inmediatamente a la tolva. Las bolsas se limpian en una secuencia regulada por un cronómetro o medidor de tiempo que activa la válvula de selenoide, que queda arriba de cada tubo del filtro, en un instante específico del ciclo. El tiempo del ciclo se ajusta para dar cierto control sobre la caída de presión. La duración del pulso de limpieza es 1/10 segundos, y el valor requerido de gas comprimido es de 9 a 14 ft<sup>3</sup>/min (medidos a condiciones atmosféricas) para un colector con área de filtrado de 510 ft<sup>2</sup>.

El medio de filtración original para los filtros de choques de impulsos era fieltro de lana no tejido de 1/16 a 1/8 de espesor. Este material se sigue utilizando mucho. Hay pocas fibras textiles que tienen las características de contracción o encogimiento necesarias para producir un fieltro sin trama. El teflón se produce en esta forma, pero también se cuenta con otras fibras sintéticas, incluyendo Nylon, Orlón, Dynel, Nomex, Dacrón y Arnel, en forma de fieltros de tejido que se elaboran entrelazando mecánicamente fibras a través de una rejilla tejida del mismo material.

6.3.4.3 RELACION DE FILTRACION

La razón de aire por área de tela, o velocidad de filtración, es un parámetro de diseño definido como, el flujo volumétrico en pies cúbicos por minuto a condiciones actuales (acfm), entre el área total de la tela (ft<sup>2</sup>). Los criterios para seleccionar un rango apropiado de la razón A/C, es tomar en consideración las características de la corriente gaseosa, así como el método de limpieza, generalmente no existe ninguna relación empírica o teórica que permita seleccionar una razón de filtración A/C, existen valores recomendados de acuerdo al método de limpieza utilizado, que se han obtenido por experiencia a nivel industrial, tal como se puede ver en la Tabla (6.6), estos valores representan una buena guía para seleccionar la velocidad de filtración, por ejemplo, si se requiere instalar un medio filtrante muy largo no se recomienda usar un método de limpieza, donde se utiliza velocidades muy altas, tal como sucede con el método de choques de impulsos.

Para determinar el área de filtración de la tela es necesario tener una velocidad de filtración A/C, así como el flujo de la corriente gaseosa (Q<sub>ac</sub>) de acuerdo a la siguiente Ecuación:

$$A/C = Q_{ac} / A_{tc} \tag{6.8}$$

Donde:

A/C = la razón de filtración ft/min

Q<sub>ac</sub> = Flujo de la corriente gaseosa en condiciones actuales acfm

A<sub>tc</sub> = área de la tela ft<sup>2</sup>

Para determinar el espesor de la tela se utiliza la siguiente Ecuación:

$$A_{tc} \times \text{Factor} = A_c \tag{6.9}$$

Donde:

A<sub>c</sub> = espesor de la área de la tela ft<sup>2</sup>

Factor = obtenido de la Tabla (6.7)

El espesor de la tela está determinado, por los costos de la tela, la estructura y los usos de la tela.

TABLA 6.6 RELACION DE FILTRACION (A/C) RECOMENDADAS PARA  
VARIOS POLVOS Y VAPORES POR SU METODO DE LIMPIEZA<sup>a</sup>

Relación de filtración recomendado por método de limpieza (fU/min)			
POLVOS O VAPORES	SACUDIMIENT O MECANICO	INVERSION DE AIRE	CHOQUES DE IMPULSOS
Abrasivos	2 0-3 0	-	9
Alumina	2 25-3 0	-	-
Aluminio	3 0	-	16
Oxido de aluminio	2 0	-	-
Asbesto	2 5-4 0	-	9-16
Bauxita	2 25-3 2	-	8-10
Altos hornos	3 0-3 5	-	*
Carbon	1 2-2 5	-	5-7
Negro de carbon	1 5-2 5	1 1-1 5	8-12
Cromo	1 5-2 5	-	9-12
Hulla	2 0-3 0	-	12-16
coque	2 5	-	9-12
Teñido	2 0	-	10
Fertilizantes	2 0-3 5	1 8-2 0	8-10
Ceniza	2 0	2 1-2 3	9-10
Fundición	-	-	8-12
Vidrio	2 5	-	-
Grafito	1 5-3 0	1 5-2 0	7-9
Hierro	2 0-3 5	-	11-12
Oxido de hierro	2 0-2 5	1 5-2 0	8-16
Sulfato de hierro	2 0-2 5	1 5-2 0	6-8
Plomo	3 5-4 0	1 5-1 8	6-9
Curtido	2 0-3 0	-	15-20
Cal	2 0-3 0	1 5-2 0	10-16
Manganeso	2 25	-	-
Vapores de metal	1 5	1 5-1 8	6-9
Polvos de metal	2 0	-	9-10
Pigmentos	2 0	-	-
Papel	3 5-4 0	-	10-12
Percloratos	-	-	10
Plásticos	2 0-3 0	-	7-10
Poliétileno	-	-	10
PVC	-	-	7
Resinas	2 0	-	8-10
Silica	2 25-2 8	1 2-1 5	7-12
Fluor de silica	2 0-2 5	-	-
Silicatos	-	-	9-10
Fécula de maiz	2 25	-	-
Talco	2 25	-	*

\* = No hay información disponible.

<sup>a</sup> Fuente: HANDBOOK. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants.  
EPA/625/6-91/014. Junio 1991. Pág. 4-69.

TABLA 6.7 FACTORES PARA OBTENER EL ESPESOR DE LA TELA<sup>5</sup>

AREA DE LA TELA, A <sub>c</sub> (ft <sup>2</sup> )	FACTOR PARA OBTENER EL ESPESOR, A <sub>c</sub> (ft <sup>2</sup> )
1 - 4,000	Multiplicar por 2
4,000 - 12,000	Multiplicar por 1.5
12,000 - 24,000	Multiplicar por 1.25
24,000 - 36,000	Multiplicar por 1.17
36,000 - 48,000	Multiplicar por 1.125
48,000 - 60,000	Multiplicar por 1.11
60,000 - 72,000	Multiplicar por 1.10
72,000 - 84,000	Multiplicar por 1.09
84,000 - 96,000	Multiplicar por 1.08
96,000 - 108,000	Multiplicar por 1.07
108,000 - 132,000	Multiplicar por 1.06
132,000 - 180,000	Multiplicar por 1.05
180,000 +	Multiplicar por 1.04

<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants.  
EPA/625/6-91/014. Junio 1991. Pág. 4-69.

#### 6.3.4.4 CONFIGURACION DE LA CASA DE BOLSAS

Los tamaños pequeños (menos de 1,000 ft<sup>2</sup> de superficie de tela) se presentan como filtros "unitarios" y se entregan totalmente montados. También hay filtros unitarios portátiles.

Las unidades de mayor tamaño se construyen de secciones rectangulares estandarizadas, montadas en paralelo. Cada sección contiene, más o menos de 1,000 a 2,000 ft<sup>2</sup> de tela y las secciones se ensamblan en el lugar de uso, para formar una sola unidad de filtración. De esta manera, el filtro se puede dividir de tal modo que una o más secciones pueden estar separadas de la operación en un tiempo dado, ya sea para sacudirlas o para darles el mantenimiento correspondiente. Esto permite que, en cualquier tiempo posterior se tenga mayor capacidad, agregando más secciones. Por lo común, estos filtros vienen con cubiertas rectangulares, ya que son más económicos, sin embargo, existen unidades circulares que se utilizan donde se requiere mayor resistencia, como sucede en operaciones a presión o al vacío.

Las casas de bolsas pueden operar a presión positiva o negativa, la cual esta determinada por la manera en que el gas circula a través de la unidad. Los gases sucios son empujados y arrastrados por la casa de bolsas, mediante un ventilador, cuando los gases cargados de polvo son empujados a través de la casa de bolsas por el ventilador localizado enfrente de la casa de bolsas, el sistema tiene una presión positiva, la cual tiene serias limitaciones, al estar localizado el ventilador en el lado de la corriente gaseosa sucia, ocasionando un deterioro prematuro en las paletas del ventilador, lo cual se convierte en términos de operación y mantenimiento, en un parámetro muy importante, al ser el ventilador un componente integral. Las casas de bolsas con presión positiva son menos caras en un principio, al necesitar menos, y una estructura más débil para soportar la casa de bolsas, aunque a la larga un sistema con presión negativa es más económico al necesitar menos mantenimiento.

Los sistemas con presión positiva, son mejores cuando se usan en corrientes de procesos, para filtrar los sistemas gaseosos con bajo contenido de humedad, bajas concentraciones de polvos y partículas abrasivas.

La casa de bolsas con presión negativa en su configuración, la determina la localización del ventilador, el cual se encuentra ubicado en la corriente de gases limpios; el desgaste en el ventilador es mucho menos que en un sistema con presión positiva, al ser separadas las partículas por las bolsas antes de entrar al ventilador; esto puede ser un factor en la selección de una casa de bolsas con presión negativa, además un sistema con estas características, son usados cuando las corrientes de los procesos a filtrar contienen una alta humedad, gases corrosivos y altas concentraciones de partículas abrasivas.

#### 6.3.4.5 MATERIAL DE CONSTRUCCION

El material más comúnmente utilizado en la construcción de los filtros de tela, es acero al carbón. En el caso donde el gas del sistema contenga altas concentraciones de  $SO_3$ , se recomienda usar acero inoxidable, por supuesto esto incrementa significativamente el costo.

### 6.3.5 COMPARACION DE LOS METODOS DE LIMPIEZA

#### 6.3.5.1 SACUDIMIENTO MECANICO

El tipo de colector más viejo, es el de sacudimiento de las casas de bolsas, las bolsas son cerradas en la parte de arriba, y están fijas al mecanismo de limpieza, de tal manera que las partículas son colectadas en el interior, las bolsas están sujetas en los tubos de metal por la parte del fondo, y el movimiento por el mecanismo de sacudimiento, causa el rompimiento de la torta formada en la casa de bolsas; recolectando el polvo en la tolva; la frecuencia para completar los ciclos de limpieza es muy variable, usualmente es de unos 30 segundos a varios minutos, dependiendo de la concentración de polvo en la corriente gaseosa.



Los colectores de casas de bolsas, al estar todas las partes en movimiento por el sacudimiento, presentan problemas excesivos de mantenimiento, las bolsas tienen un desgaste muy fuerte y como consecuencia fallan muy rápidamente.

### 6.3.5.2 INVERSION DEL FLUJO DE AIRE

Las partículas son colectadas en el interior de la bolsa, en una casa de bolsas con inversión del flujo de aire, la limpieza se realiza por la parte de arriba de la bolsa, el polvo es removido al colapsarse la bolsa, causando la fractura y rompimiento de la torta de polvo, la cual se deposita en la tolva; la acción de limpieza es muy suave, permitiendo el uso de telas que resisten menos la abrasividad, generalmente un sistema de inversión del flujo de aire se recomienda para telas de tejido plano, aunque también se usan para algunas aplicaciones muy específicas las de fieltro. Estos sistemas de limpieza tienen la característica de tener diámetros y longitudes más largas, además las bolsas tienen anillos cosidos alrededor de la circunferencia que permite colapsar la bolsa durante el ciclo de limpieza, al colapsarse la bolsa permite que el polvo descienda completamente a la tolva, la longitud de la bolsa y la aplicación determinan el número de anillos anticolapsantes requeridos. Un elemento crítico en el mantenimiento, es la tensión de la bolsa, siendo esencial para la inversión del flujo de aire que la bolsa este colgada verticalmente y tensionada.

### 6.3.5.3 CHOQUES DE IMPULSOS

El mecanismo de limpieza de choques de impulsos, se realiza mediante una presión de aire muy alta para separar el polvo de la bolsa; los compartimientos están sujetos internamente por jaulas y están firmemente fijadas las bolsas en la parte de arriba por tornillos, abrazaderas y la bolsa por la parte de abajo está completamente cerrada. El gas cargado de polvo es filtrado en la parte externa de la bolsa, en donde la torta formada de polvo es separada por ráfagas de aire comprimido inyectado en la parte de arriba de la bolsa; estos diseños ofrecen una alta relación de filtración (A/C), estas unidades usualmente utilizan fieltro como material de fabricación de la bolsa, este mecanismo de limpieza tiene varias ventajas como son: en el compartimiento no todas las partes están en movimiento, la limpieza es básicamente continuo, los compartimientos generalmente son más pequeños; la mayor desventaja de este método, es que las bolsas están sujetas a más tensión mecánica, requiriendo de una alta estabilidad dimensional. Una comparación de los tres métodos de limpieza se puede ver en la Tabla (6.8).

TABLA 6 8  
COMPARACION DE LOS METODOS DE LIMPIEZA EN LAS CASAS DE BOLSAS<sup>1</sup>

PARAMETRO	SACUDIMIENTO MECANICO	INVERSION DEL FLUJO DE AIRE	CHOQUES DE IMPULSOS INDIVIDUALES	CHOQUES DE IMPULSOS EN COMPARTIMIENTOS
Limpieza	Exterior	Exterior	Interior	Exterior
Tiempo de limpieza	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Uniformidad de limpieza	Promedio	Buena	Promedio	Buena
Desgaste de bolsa	Promedio	Bajo	Promedio	Bajo
Tipo de tela	Plana	Plana	Fieltro	Fieltro
Velocidad de filtración	Promedio	Promedio	Alta	Alta
Costos de electricidad	Bajo	bajo-medio	Alto	Medio
Cantidad de polvo	Promedio	Promedio	muy alto	Alto
Temperatura máxima*	Alta	Alta	Media	Media
Eficiencia de coleccion	Buena	Buena	Baja	Baja

<sup>1</sup> Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants.  
EPA/625/6-91/014. Junio 1991.

\* Limitada por la tela.

### 6.3.6 FABRICACION DE CASAS DE BOLSAS

Los recintos para el alojamiento y soporte de las bolsas pueden ser hechos en varias formas:

#### 6.3.6.1 DISEÑO MODULAR

Una completa unidad ensamblada en fábrica consistiendo de componentes sujetos con pernos o soldados, puede incluir la tolva para el polvo, patas de soporte, accesorios de limpieza, cronómetro, deflectores internos, bolsas, etc. La instalación solamente requiere montaje en el sitio, una gran base para sujetar las patas antes de conectar los sistemas de entrada, escape y servicios. Un grupo de unidades conectadas en paralelo puede ser usado para obtener capacidad adicional. La conexión en paralelo puede ser interna, o externa usando múltiples piezas de tubo sujetadas a las conexiones de entrada y salida de cada módulo. Los tamaños de los módulos están limitados aquellos que pueden ser transportados por carretera.

### 6.3.6.2 SUBMONTAJE SOLDADO EN FABRICA

El alojamiento de la bolsa, entradas y salidas de las cámaras, tolvas etc; son fabricadas separadamente para formar los submontajes que pueden ser transportados por carretera. Las conexiones de componentes adyacentes pueden ser preparados para sujetarse con pernos o soldadura en el sitio de trabajo. El método de montaje depende de los materiales de construcción y ubicación de la casa de bolsas. El campo de soldadura es excluido donde las bolsas están ya instaladas en el submontaje

### 6.3.7 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE OPERACION DE UNA CASA DE BOLSAS

#### 6.3.7.1 EFICIENCIA DE COLECCION

La eficiencia de coleccion esta relacionada, con la caída de presión a través del sistema, la frecuencia y el método de limpieza, así como la velocidad de filtración A/C. Estos factores son los que se tienen que reevaluar para obtener la eficiencia deseada; las modificaciones que se podrían hacer, sería cambiar la velocidad de filtración A/C, usando diferentes tipos de tela, si lo permite la temperatura y las demás características del sistema.

#### 6.3.7.2 CAIDA DE PRESION EN EL SISTEMA

La caída total de presión,  $P_o$ , es igual a la suma de la presión a través de la tela del filtro y a través del depósito de partículas. Luego, se puede escribir, en términos de la ecuación de Darcy, como:

$$\Delta P_o = \Delta P_f + \Delta P_p = \alpha \mu_g V / K_f + \alpha \mu_g V / K_p \quad (6.10)$$

Donde los subíndices f y p se refieren a la tela limpia y a la capa de partículas o polvo, respectivamente. La caída de presión de la tela  $\Delta P_f$  debe ser esencialmente constante para un material y polvo dados. Por tanto, la caída total de presión depende primero de la variación de  $\Delta P$ , según se acumula la capa de polvo sobre la tela limpia. Para condiciones dadas de operación (viscosidad y velocidad superficial del gas),  $\Delta P_p$  es primero una función de la permeabilidad del polvo, y K del espesor de la capa de polvo,  $x_p$ . El espesor de la capa de polvo es, a su vez, una función directa del tiempo de operación, t.

Se puede desarrollar una expresión, con base en los primeros principios, para la variación con el tiempo de  $\Delta P_p$ , la caída de presión a través de la capa de polvo. Esto se lleva a cabo fijándose en la masa de polvo recogida en el tiempo  $t$  ( después de la puesta en marcha) equivale al gasto volumétrico del gas multiplicado por el intervalo y por la masa de polvo en la corriente del gas, por volumen unitario,  $L_d$ . Sin embargo, la masa acumulada equivale también a la densidad de la partícula,  $\rho_p$ , sobre la superficie del filtro, multiplicada por el volumen de polvo recolectado en el tiempo  $t$ . Igualando estas dos magnitudes, se puede escribir la siguiente expresión

$$\text{masa colectada} = (VA)(t)(L_d) = \rho_p (Ax_p) \quad (6.11)$$

Donde  $A$  es el área de la sección transversal del filtro,  $V$  es la velocidad del gas normal al filtro, y  $L_d$  se conoce como la carga de polvo. La Ecuación (6.11) demuestra que  $x_p = V L_d t / \rho_p$ , por tanto, la caída de presión a través de polvo recién depositado resulta ser:

$$\Delta P_p \propto \mu_g V / K_p = V L_d t / \rho_p (V \mu_g / K_p) = V^2 L_d t \mu_g / \rho_p K_p \quad (6.12)$$

Como  $\mu_g$ ,  $\rho_p$  y  $K_p$  son valores únicos de la corriente de gas y de las partículas dadas, se les agrupa en un parámetro de resistencia  $R_p$ , de donde resulta por definición que:

$$R_p = \mu_g / \rho_p K_p \quad (6.13)$$

De aquí resulta que la Ecuación (6.12) se puede simplificar para que tome la forma:

$$\Delta P_p = R_p V^2 L_d t \quad (6.14)$$

Se supone que  $L_d$  y  $V$  no varían durante el ciclo de filtración en esta deducción. Para las características dadas del gas y la permeabilidad de la torta de filtración, se ve que la caída de presión a través de las partículas depositadas varía linealmente con la carga de polvo en la corriente del gas, y también con el tiempo. También varía con el cuadrado de la velocidad superficial del gas, con base en esta teoría. Ya se indicó que la caída de presión varía en la práctica más bien como una función exponencial de la velocidad de filtración, que como una función cuadrática.

Normalmente la caída de presión está en un rango de 5 a 20 pulgadas de agua; la variación de la caída de presión fuera de este rango de diseño, indica problemas con el sistema de filtración, una alta caída de presión en el sistema puede indicar lo siguiente:

- a) Un incremento en el volumen de la corriente gaseosa
- b) Taponamiento en la tela de filtración
- c) Un mecanismo de limpieza inadecuado

Cuando se tienen bajas caídas de presión a través del sistema puede ser indicativo de lo siguiente:

- a) Se tienen problemas con el motor
- b) La bolsa puede estar rota
- c) Puede haber fugas entre las secciones de la casa de bolsas

Por estas razones se recomienda que la caída de presión a través del sistema se este monitoreando continuamente.

### 6.3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CASAS DE BOLSAS

#### 6.3.8.1 VENTAJAS

1. Alta eficiencia de colección para partículas finas.
2. Es insensible a las fluctuaciones de la corriente gaseosa. La eficiencia y la caída de presión se ven poco afectados, por los cambios de las condiciones de entrada del flujo gaseoso; en un filtrado continuo.
3. El aire a la salida de la bolsa de filtración se puede recircular en muchos casos (para la conservación de energía)
4. El material recolectado es recuperado seco, y subsecuentemente se puede enviar a reprocesarlo, o para su disposición final
5. No se tienen residuos líquidos, que ocasionen contaminación del agua
6. Usualmente no hay problemas de corrosión
7. No hay peligro por alto voltaje, simplificando la recuperación y mantenimiento, además permite la recolección de polvos inflamables
8. Las condiciones de entrada y salida, así como la localización del sitio donde se instalará la casa de bolsas, determina la configuración.
9. La operación es relativamente simple

### 6.3.8.2 DESVENTAJAS

1. La temperatura no puede exceder de 550°F
2. Las concentraciones de algunos polvos en el colector (aproximadamente de 50 gramos/m<sup>3</sup>) puede representar un peligro por explosión o fuego, si una chispa o flama esta cerca, las bolsas pueden incendiarse, si esta siendo colectado un polvo que fácilmente se oxida
3. Los costos por mantenimiento son altos ( reposición de bolsas)
4. Reducción en el promedio de vida de la tela, si se manejan flujos de gases a altas temperaturas, en presencia de sustancias acidas o alcalinas
5. Cuando se manejan sustancias higroscópicas se requieren de aditivos especiales para evitar que los componentes se adhieran a la tela
6. La eficiencia de recolección disminuye al aumentar la humedad relativa en el sistema gaseoso.
7. La reposición de la tela o el mantenimiento, requiere proteccion respiratoria.

### 6.3.9 MANTENIMIENTO DE LAS CASAS DE BOLSAS

El mantenimiento de las casas de bolsas de filtración esta ligado directamente con los parámetros de operación, por lo cual es necesario contar con un programa preventivo y correctivo de mantenimiento, y un manual de operación. La experiencia a nivel industrial con las casas de bolsas, han identificado problemas de mantenimiento, en orden decreciente en frecuencia, de acuerdo a lo siguiente.

- I Bolsas utilizadas para la filtración
- II. Control de flujo
- III. La tolva que recolecta el polvo
- IV Mantenimiento a los sistemas de limpieza

La caída de presión, a través de la bolsa puede ser checado frecuentemente durante la operación normal. Este parámetro es el más importante indicativo de un buen funcionamiento de las bolsas de filtración.

### 6.3.10 ALGORITMO PARA EL CALCULO DE LOS FILTROS DE BOLSA

Características de los contaminantes

Flujo volumetrico de la corriente gaseosa a condiciones actuales acfm

Contenido de humedad de la corriente gaseosa

Temperatura de la corriente gaseosa

Diámetro promedio de las partículas  $D_p$ ,  $\mu\text{m}$

Contenido de  $\text{SO}_2$ , ppm

Concentración de partículas  $\text{mg}/\text{m}^3$

#### 6.3.10.1 VARIABLES DE DISEÑO PARA LA FABRICACION DE LAS CASAS DE BOLSAS

1. Tipo(s) de tela(s) (utilizar la Tabla 6.5)
2. Método de limpieza
3. Velocidad de filtración (utilizar la Tabla 6.6)
4. Area de tela ( $A_w$ )
5. Espesor de la tela ( $A_c$ )
6.  $A_c = A_w \times \text{factor}$  ( para obtener el factor utilizar la Tabla 6.7)
7. Configuración de la casa de bolsas

#### 6.3.10.2 EVALUACION QUE PERMITA SU APLICACION

Como punto fuera de toda discusión, en la fabricación de las bolsas de filtración, son las consideraciones de diseño, en donde los parametros basicos de diseño, generalmente son seleccionados involucrando las características de los otros sistemas de control, y evaluando las especificaciones del sistema, de tal manera que permita su aplicación; así como revisando, cada uno de los parámetros en terminos de compatibilidad entre el sistema y las condiciones de la corriente gaseosa, para lo cual se tendrían que reevaluar los siguientes aspectos

1. El material seleccionado para la casa de bolsas es compatible con las condiciones de la corriente gaseosa, como es la temperatura y la composición Ver Tabla (6.5).
2. El metodo de limpieza para la bolsa es compatible con el material seleccionado para su fabricacion y su construcción, esto es, la construcción es con tela de tejido plano, o de fieltro. Ver Tabla (6.7)
3. El mecanismo de limpieza proporciona el control deseado.
4. La razón de filtración A/C es apropiada para su aplicación, como es el tipo de ducto y el método de limpieza usado Ver Tabla (6.8)
5. Los valores del flujo de gas y el área de la tela son consistentes; los valores se pueden checar con la Ecuación (6.8).
6. Es la configuración de la bolsa apropiada.

6.3 11 RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE LA CASA DE BOLSAS

TABLA 6 9 RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE LA CASA DE BOLSAS

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO
Te	Tela seleccionada	Nylon 66
ML	Método de limpieza	Sacudimiento mecánico con inversión del flujo de aire
A/C (ft/min)	Velocidad de filtración	2.5
A <sub>te</sub> (ft <sup>2</sup> )	Área de tela	2571.2659
A <sub>te</sub> (ft <sup>2</sup> )	Espesor de la tela	5142.5318
CF	Configuración de la casa	Bolsas cilíndricas a presión negativa
Db (pulg)	Diámetro de la bolsa	8
Lb (ft)	Longitud de la bolsa	16
Nb	Número de bolsas	76

6.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los gases generados como productos de la combustión de los residuos sólidos biológico-infecciosos peligrosos son enfriados hasta saturar los gases con agua a una relación de 0.01 galones de agua, la cual es inyectada en la garganta del venturi por cada pie cúbico de gas.

Con la saturación de los gases se logra una precipitación de las partículas, así como cierto control de los gases ácidos (ácido clorhídrico, ácido nítrico) y algunos metales pesados (mercurio, zinc, antimonio, arsénico, cadmio).

Los filtros de tela se forman generalmente de tubos cilíndricos y se cuelgan en hilas verticales múltiples para proporcionar grandes áreas superficiales para el paso del gas.

El gas impuro entra desde abajo y pasa a través de la tela mientras que las partículas se depositan en el interior de las bolsas. Para las cuales se tendrá un mecanismo de limpieza por sacudimiento mecánico acompañado por flujo inverso de gas limpio. Esta operación comprende básicamente los siguientes pasos



- a) Cerrar las compuertas de tiro
- b) Sacudir las unidades de filtrado (manual)
- c) Invertir el flujo de aire
- d) Abrir la compuerta de tiro

Los pasos anteriores comprenden el ciclo de limpieza, el cual está determinado por la caída de presión del sistema (5 pulgadas de agua).

# 7

## EVALUACION DE COSTOS DE SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE (Filtro de Bolsas, Lavador Venturi)

### 7.1 FACTORES PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE CAPITAL Y DE COSTOS DE OPERACION

Los costos de capital pueden ser estimados por métodos que varían en precisión como son:

- (a) Costos instalados totales derivados via parámetros de capacidad (como \$ por ton de producción por año, y \$ por  $\text{ft}^3$  de gas procesado por hora).
- (b) Costos detallados basados en diseños preliminares y cotizaciones del contratista.

Como ejemplo del primer método, el costo instalado de un sistema de filtración de tela puede ser dado como  $\$7/(\text{ft}^3/\text{min})$  de gas, sobre las bases de costos promedio que varían desde \$3 a  $\$12/(\text{ft}^3/\text{min})$ . El extremo inferior del rango puede representar equipo estándar instalado por personal de la planta, un sistema apenas conocido de regulaciones de control. El extremo superior puede representar un sistema que incluya equipo de reserva, margen de seguridad, automatización completa y materiales de construcción costosos. Porque tales consideraciones afectan a ambos costos de instalación y equipo, la precisión suministrada por este método de estimación estará en la categoría de "orden de magnitud", es decir, más 50%, y menos 30%.

Por otra parte, los estimados de costo detallado, pueden producir precisiones de  $\pm 5\%$ , dependiendo de la cantidad de ingeniería preliminar realizada. Estando basada en diagramas de flujo de proceso y de ingeniería y balances de materia y energía. Estos estimados requieren de muchos meses de trabajo de ingeniería.

Para estimados iniciales, es necesario un método que caiga entre estos extremos, uno que dé precisiones de aproximadamente  $\pm 20\%$ , mejor que los estimados de "estudio" de  $\pm 30\%$  de rango de error. Un método semejante, el así llamado de aproximación "factorado", es presentado más adelante en este capítulo para la estimación de costos de capital de sistemas de control de contaminación de aire. Es fundamentalmente un método de Lang modificado, por medio del cual factores para costos de instalación directos e indirectos son aplicados a costos de equipo.

## 7.2 FACTORES PARA EQUIPO DE CONTAMINACION DE AIRE

Los factores de costo para cinco tipos de equipo de control de contaminación de aire están dados en la Tabla (7.1).

Los precios de compra de equipo primario y auxiliar son obtenidos de proveedores o de curvas de costo. La instrumentación es cotizada separadamente porque las opciones son normalmente obtenibles.

El precio base —el cual incluye el "libre abordó" de costo de equipo, costo de instrumentación (si es comprado de otro vendedor), transporte e impuestos— sirve como la base para estimar los costos de instalación directos e indirectos. Esto es hecho multiplicando el precio base por los multiplicadores de la Tabla (7.1).

Por ejemplo, para estimar el costo de instalación directo de un sistema de filtro de tela (excepto la preparación del sitio, instalaciones y edificios), multiplicar "X" por 0.72. Para hallar el costo de instalación indirecto (excepto un modelo de estudio), multiplicar "X" por 0.45. Y para llegar al estimado total del costo de instalación, sumar estos productos a el precio base, es decir,  $X + 0.72X + 0.45X$ .

## 7.3 AJUSTES DEL FACTOR DE COSTO

Para estimados más refinados, los factores de costo de la Tabla (7.1) deben ser ajustados. El ajuste de factores para categorías de costo elegidos son presentados en la Tabla (7.2). Estos ajustes deben ser aplicados a los factores de costo para desarrollar el estimado del costo de capital que refleje más cerca el sistema que es contemplado.

Por ejemplo, depende de la complejidad de la instrumentación y controles, este factor de costo podría variar desde  $0.05(A+B)$  a  $0.03(A+B)$ . Los costos de instalación podrían variar materialmente, dependiendo de consideraciones tales como si el equipo está para ser entregado como un paquete o debe ser ensamblado en el campo, si el sitio estará dentro o fuera de límites de batería, si los servicios estarán disponibles en o cerca del lugar, y si el equipo está en el exterior o encerrado.

TABLA 7.1 FACTORES DE COSTO PROMEDIO PARA EQUIPO ELEGIDO DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE<sup>5</sup>

COSTOS DIRECTOS	PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	LAVADOR VENTURI	FILTRO DE TELA	ADSORBEDOR DE CARBON	ABSORBEDOR DE GAS
EQUIPO COMPRADO PRIMARIO	$\left. \begin{array}{l} A \\ B \\ 0.10(A+B) \\ 0.03(A+B) \\ 0.05(A+B) \\ X \text{ (TOTAL DE ARRIBA)} \end{array} \right\}$				
AUXILIAR					
INSTRUMENTOS Y CONTROLES					
IMPUESTOS					
TRANSPORTE					
PRECIO BASE	LO MISMO PARA TODOS LOS EQUIPOS				
INSTALACION CIMENTOS Y SOPORTES	0.04	0.06	0.04	0.06	0.12
MANEJO Y CONSTRUCCION ELECTRICO	0.50	0.40	0.50	0.14	0.40
TUBERIA	0.01	0.01	0.08	0.04	0.01
AISLAMIENTO	0.02	0.05	0.01	0.02	0.30
PINTURA	0.02	0.03	0.07	0.01	0.01
PREPARACION DEL SITIO		[ LO QUE SEA REQUERIDO ]			
SERVICIOS Y EDIFICIOS		[ LO QUE SEA REQUERIDO ]			
MULTIPLICADOR PARA COSTOS DE INSTALACION DIRECTOS	0.67	0.56	0.72	0.30	0.85
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
INSTALACION INGENIERIA Y SUPERVISION	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
CONSTRUCCION Y CAMPO	0.20	0.10	0.20	0.05	0.10
CONSTRUCCION LIBRE	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ARRANQUE	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MODELO DE ESTUDIO	0.02				
CONTINGENCIAS	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MULTIPLICADOR PARA COSTOS DE INSTALACION INDIRECTOS	0.57	0.35	0.45	0.31	0.35

<sup>5</sup> Fuente: William M. Vatauvuk, Estimating costs of air—pollution control systems, Part II. Chemical engineering, November 3, 87(22): 158 (1980).

Tabla 7 2 AJUSTES PARA CATEGORÍAS DE COSTO SELECCIONADAS <sup>1</sup>	
Categoría de costo	Ajuste
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>	
1 Simple, continua, manual	0.5 a 1.0
2 Control intermitente, flujos modulares de instrumentación	1.0 a 1.5
3 Procesos peligrosos, incluye seguridad de apoyo	3.0
<b>TRANSPORTE</b>	
1 Áreas metropolitanas importantes en el continente americano	0.2 a 1.0
2 Áreas remotas en el continente americano	1.5
3 Alaska, Hawaii, y otros países	2.0
<b>MANEJO Y MONTAJE</b>	
1 El costo de entrega incluye montaje, soportes, base, suministra rampas de descarga, sistema pequeño a moderado	0.2 a 0.5
2 Equipo modular, conductos y tubería menos de 200 ft de longitud para sitio compacto, sistema de tamaño moderado	1.0
3 Sistema grande y disperso, requiriendo de conductos largos y tubería, fabricación en el sitio, soldadura extensa y montaje	1.0 a 1.5
4 Reinstalación de planta existente, incluye traslado de equipo y restauración del sitio, sistema moderado a grande	2.0
<b>PREPARACION DEL SITIO</b>	
1 Dentro de límites de batería de planta existente, descarga y categoría mínima	0
2 Fuera de límites de batería, nivelación extensa y traslado de estructuras, incluye inspección de terreno y estudio	1.0
3 Excavación extensa, relleno y nivelación, puede incluir desagüe y colocación de pilotes	2.0
<b>SERVICIOS Y EDIFICIOS</b>	
1 Proceso al aire libre, servicios en el sitio	0
2 Proceso al aire libre, con algunos encerrados de la exposición a la intemperie, servicios llevados al sitio, carreteras de acceso, cercado y alumbrado mínimo	1.0
3 Edificios con calentamiento y enfriamiento, servicios de higiene, almácenos y oficina, puede incluir apartaderos, cambio de almacén y estacionamiento	2.0
<b>INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN</b>	
1 Equipo estándar de capacidad pequeña, duplicado de sistema típico, colocación del turno clave	0.5
2 Equipo de aduana, control automático	1.0 a 2.0
3 Prototipo del equipo, sistema grande	3.0
<b>CONSTRUCCION Y CAMPO</b>	
1 Sistema de capacidad pequeña	0.5
2 Sistema de capacidad media	1.0
3 Sistema de capacidad grande	1.5
<b>MATRICULA DE CONSTRUCCION</b>	
1 Turno clave, construcción e instalación incluida en el costo de equipo	0.5
2 Contratista único para la instalación completa	1.0
3 Muchos contratistas, supervisión por contratista principal	2.0
<b>CONTINGENCIA</b>	
1 Desarrollo de procesos	1.0
2 Prototipo o proceso experimental sujeto a cambio	3.0 a 5.0
3 Garantía de eficiencias y pruebas piloto que requieren especificaciones de operación, prórroga de pago hasta la certificación final, y multa por fallo para conocer fecha de terminación o eficiencia	5.0 a 10.0

Fuente: William M. Vatavuk, Estimating costs of air—pollution control systems,  
Part II Chemical engineering, November 3, 87(22) 159 (1980).

Un modelo de estudio puede ser requerido en una circunstancia poco común, como cuando se evalúa un sistema precipitador electrostático grande para el cual solo datos escasos pueden ser derivados a partir de instalaciones pasadas.

#### 7.4 ILUSTRANDO EL PROCEDIMIENTO

El método de estimación de costo de capital factorado es ejemplificado por medio de un sistema de filtro de tela manejando una corriente gaseosa de 30 000 ft<sup>3</sup> estándar/min. El costo de compra del equipo primario (la casa de bolsas) es tomado como \$192 000, y un costo adicional de \$134 000 es necesario para el equipo auxiliar (enfriador, ducto de trabajo y ciclón preacondicionador para una corriente gaseosa caliente de un horno, más una cinta transportadora de tornillo, soplador y chimenea después de la casa de bolsas).

El sistema está para ser operado continuamente, y ser controlado por instrumentación bastante sofisticada. Por lo tanto, el típico, o promedio, factor de costo de 0.10 para instrumentos y controles (Tabla 7.1) es ajustado por un factor de 1.5 (Tabla 7.2), dando un factor de costo del sistema instrumento de 0.15. Los impuestos son honrados, es decir, factor de ajuste igual a uno. La instalación es para ser cercana a una Ciudad importante, así el factor de ajuste para transporte es tomado como 0.6 (Tabla 7.2), dando un factor de costo para el sistema de transporte de 0.03.

El precio base para el equipo es, por lo tanto, estimado como \$394 460, ver Tabla (7.3):

Equipo primario y auxiliar	\$ 326 000
Instrumentos y controles (0.15 × \$326 000)	\$ 48 900
Impuestos (0.03 × \$326 000)	\$ 9 780
Transporte (0.03 × \$326 000)	\$ 9 780
PRECIO BASE	\$ 394 460

La instalación parece no acarrear complejidades. El sistema esta para ser instalado en una planta existente, así no habrá costos para la preparación de uno u otro sitio o instalaciones y edificios. El equipo será surtido en módulos y el sitio es compacto, así el factor de ajuste para manejo y montaje es tomado como uno (Tabla 7.2). Ninguno de los otros factores de costos directos de instalación requiere de ajuste.

Por tanto, el multiplicador de costos directos de instalación sale de 0.72, el cual da un estimado de costos indirectos de instalación de \$284,000 ( $0.72 \times \$394,460$ ).

La estimación de costos indirectos de instalación parece no presentar problemas especiales. El equipo es estándar, así el ajuste de ingeniería y supervisión es tomado como 0.5 (Tabla 7.2), el cual produce un factor de costo del sistema de 0.05 ( $0.10 \times 0.50$ ). El sistema será de capacidad media, será instalado por un solo contratista, y el proceso ha sido desarrollado completamente. Por lo tanto, los ajustes para las categorías de costo de construcción y gastos en campo, derechos de construcción y contingencias cada uno igual a uno (Tabla 7.2). El arranque y los factores de prueba de resultados no necesitan ser ajustados, y un modelo de estudio no es requerido. Consecuentemente, el multiplicador para los costos indirectos de instalación viene a ser de 0.40, el cual da un estimado de los costos indirectos de instalación de \$157,784 ( $0.40 \times \$394,460$ ). Y la estimación para el sistema entero equivale a \$394,460 + \$284,011 + \$157,784, ó \$836,000 (redondeando). Si la precisión de esta estimación factorada esta dentro de los límites normales de  $\pm 20\%$ , esto significa que el costo actual del sistema instalado podría variar desde un alto de \$1,003,000 a un bajo de \$669,000.

## 7.5 ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION ANUALIZADOS

La Tabla (7.4) presenta una guía para estimar los costos de operación anualizados de sistemas de control de contaminación de aire. Los costos por unidad, los cuales pueden variar de modo significativo, son dados solo como ejemplos. Excepto como se señalo, los costos de servicios y de trabajo directos estan basados en precios promedio de Estadísticas de Trabajo de Escritorio para 1977.

Los costos de trabajo y material para operación y mantenimiento (los cuales dependen del punto de la automatización, edad del equipo, características de la corriente y periodos de operación) pueden variar considerablemente. Sin embargo, estos costos representan normalmente de 2 a 8% del costo anualizado total, con el resto reflejado en costos de servicios y cargas de capital.

TABLA 7.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y FACTORES PARA SISTEMAS  
DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AIRE<sup>a</sup>

<u>Categorías de Costo</u>	<u>Factores de Costo</u>
<b>Costos de operación directos</b>	
1 Trabajo de operación	
a) Operador	\$ 7.87/hora-hombre <sup>a</sup>
b) Supervisor	15% de 1a
2. Materiales de operación	Lo que sea requiendo
3 Mantenimiento	
a) Trabajo	\$ 8.66/hora-hombre <sup>†</sup>
b) Material	100% de 3a
4 Partes de repuesto	Lo que sea requiendo
5 Servicios	
a) Electricidad	\$ 0.0432/kWh <sup>‡</sup>
b) Aceite Combustible	\$ 0.47/gal <sup>‡</sup>
c) Gas natural	\$ 1.98/1 000 ft <sup>3</sup> <sup>‡</sup>
d) Agua de planta	\$ 0.25/1 000 gal <sup>§</sup>
e) Tratamiento de agua y agua de enfriamiento	\$ 0.10/1 000 gal <sup>§</sup>
f) Vapor	\$ 5.04/1 000 lb <sup>¶</sup>
g) Aire comprimido	\$ 0.02/1 000 ft <sup>3</sup> <sup>§</sup>
6 Disposición de residuos	\$ 5-10/ton
<b>Costos de operación indirectos</b>	
7. Gastos generales	80% de (1a + 1b + 3a)
8 Impuesto de propiedad	1% del costo de capital
9 Seguro	1% del costo de capital
10 Administración	2% del costo de capital
11. Recuperación de capital	16.3% del costo de capital <sup>¶</sup>
<b>Créditos</b>	
12. Producto recuperado	—

<sup>a</sup> Velocidad promedio del trabajador en taller BLS \$ 6.56/h. más beneficios complementarios de 20% (Mayo 1977)

<sup>†</sup> 10% de prima sobre el trabajo de operación

<sup>‡</sup> Índice de precios al consumidor BLS (Mayo de 1977)

<sup>§</sup> Actualizado a 1977

<sup>¶</sup> Combustible a \$ 4.19/1 000 lb de vapor, más 16% para operaciones y mantenimiento

<sup>¶</sup> Tasa de retorno al 10%, y vida del equipo de 10 años



\* Fuente: William M. Vatauvuk, Estimating costs of air-pollution control systems, Part II. Chemical Engineering, November 3, 87(22) 160 (1980)

Los costos de trabajo de operación en grande automatizado, sistemas continuos pueden ser estimados mediante la Tabla (7.5) La estimación del trabajo de mantenimiento relacionado con sistemas de capacidad grande manejando corrientes no corrosivas, y sólo en ese caso para mantenimiento preventivo Para reemplazos principales (como bolsas de filtro y adsorbente) el costo de trabajo puede ser tomado como igual que las partes de repuesto o materiales. Para sistemas pequeños a medios (costo instalado aproximadamente de \$100 000 o menos), una estimación razonable para el mantenimiento total sería 5% del costo de capital instalado

TABLA 7.5 Estimado de horas de trabajo por turno\* (5)

Equipo principal	Operación	Mantenimiento
Filtros de tela	2 a 4	1 a 2
Precipitadores	½ a 2	½ a 1
Lavadores	2 a 8	1 a 2
Incineradores	½	½
Absorbedores	½	½
Adsorbedores	½	½
Refrigeradores	½	½
Llantas	—	½

\* Basado en discusiones con fabricantes y operadores.

(5) Fuente: William M. Vatauvuk, Estimating costs of air-pollution control systems, Part II. Chemical engineering, November 3, 87(22). 160 (1980)

El costo anual de partes de reposición puede ser calculado dividiendo el costo de las partes por su duración esperada. La estimación de partes y duración del equipo de la Tabla (7.6) están basadas en un juicio cualitativo del tipo de aplicación, servicio de mantenimiento y ciclo de rendimiento. El principio de la vida promedio relacionado con un sistema operando continuamente (tres turnos por día, cinco a siete días por semana), manejando concentraciones moderadas de polvos no abrasivos o gases no corrosivos. Esperanzas de vida bajas refleja servicio continuo, con el sistema manejando corrientes gaseosas de temperatura moderada a alta, altamente corrosivo o con un contenido alto de polvo abrasivo. Esperanzas de vida altas relacionadas con operación intermitente, es decir, un turno por día, tratando corrientes gaseosas con concentraciones bajas de polvo y a temperaturas ambiente.

**Tabla 7.6 Guía para la vida de equipo y partes (años)\* <sup>(5)</sup>**

EQUIPO	Tipo de servicio		
	Bajo	Promedio	alto
Precipitadores electrostáticos	5	20	40
Lavadores Venturi	5	10	20
Filtros de tela	5	20	40
Incineradores térmicos	5	10	20
Incineradores catalíticos	5	10	20
Absorbedores	5	10	20
Adsorbedores	5	10	20
PARTES O MATERIAL	Tipo de servicio		
	Bajo	Promedio	alto
Bolsas de filtro	0.3	1.5	5
Adsorbentes	2	5	8
Catalizadores	2	5	8
Refractarios	1	5	10

\* Basado en discusiones con fabricantes y operadores

<sup>(5)</sup> Fuente: William M. Vatavuk, Estimating costs of air—pollution control systems, Part II. Chemical engineering, November 3, 87(22): 160 (1980).

## 7.6 ESTIMACION DEL COSTO DE SERVICIO

El consumo de potencia del ventilador y la bomba puede ser calculado via las Ecuaciones (7.1) y (7.2):

$$\begin{aligned} \text{Ventilador (kWh)} &= 0.746(\text{hp})(\text{h}) \\ &= (0.746 Q_G \Delta P S_G \text{ h}) / (6356 \eta) \end{aligned} \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Bomba (kWh)} &= 0.746(\text{hp})(\text{h}) \\ &= (0.746 Q_1 Z S_G \text{ h}) / (3960 \eta) \end{aligned} \quad (7.2)$$

Los requerimientos de potencia para motores de sacudidores de filtros de tela, motores de ventiladores de aire invertido, etc., son de aproximadamente 0.5 hp/1000 ft<sup>2</sup> de tela. El uso variará con la carga de polvo y el ciclo de limpieza.

Los requerimientos de potencia para precipitadores son de aproximadamente  $1.5 \text{ WHr}^2$  de área de colección, el rango varía desde 0.3 a  $3 \text{ WHr}^2$ .

### 7.7 ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION INDIRECTOS

Los costos de operación indirectos (excepto para gastos generales) son proporcionales normalmente a la inversión de capital

Una estimación razonable para los impuestos sobre la renta (es decir, ventas, etc.), seguro y costos administrativos es el 4% del costo de capital instalado. El costo de gastos generales es típicamente 80% de las cargas de trabajo de mantenimiento y operación.

Las cargas de capital anualizadas, las cuales reflejan los costos de recuperación de capital sobre la vida de depreciación del sistema, pueden ser determinadas por la Ecuación (7.3):

$$\text{CRC} = (\text{ICC}) \{ [i(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1] \} \quad (7.3)$$

La suma de los costos de operación directos e indirectos (menos algunos créditos) es igual a los costos de operación anualizados.

Finalmente, la Tabla (7.7) proporciona la nomenclatura de las secciones anteriores de este capítulo.

Tabla 7.7 NOMENCLATURA (*)	
Variable	Significado
CRC	Costo de recuperación de capital
h	Horas de operación
ICC	Costo de capital instalado
i	Tasa de interés anual (%)
n	Vida de depreciación (años)
$\Delta P$	Caída de presión (in de H <sub>2</sub> O)
$Q_c, Q_t$	Razón de flujo (ft <sup>3</sup> /min ó gal/min)
$S_c$	Gravedad específica del fluido comparada para aire o agua a 70°F y 29.29 in de Hg
Z	Cabeza del fluido (ft)
$\eta$	Eficiencia, 60 a 70%
\$	Dólares

(\*) Fuente: William M. Vatauvuk, Estimating costs of air—pollution control systems, Part II, Chemical engineering, November 3, 87(22): 162 (1980).

## 7.8 COSTOS DE CAPITAL Y ANUALES DE FILTROS DE TELA

Una vez que el equipo ha sido clasificado según el tamaño, un tipo de estudio para estimar el costo puede ser obtenido usando los procedimientos que aparecen más abajo. El procedimiento implica la estimación del costo de capital de un sistema usando una aproximación factorada y obteniendo los costos anualizados por la suma de los costos anuales directos e indirectos.

### 7.8.1 COSTO DE CAPITAL TOTAL

Los costos de capital total incluyen los costos para la estructura de la casa de bolsas, el complemento inicial de las bolsas, equipo auxiliar, y los costos directos e indirectos usuales asociados con la instalación o armado de estructuras nuevas. Estos costos son descritos más abajo, y pueden ser actualizados si es deseado.

En este trabajo el costo de capital total incluye solamente costos en el área de fabricación; por lo tanto, se excluyen los costos fuera del sitio. El costo de capital total de un sistema de control es la suma de los costos directos, costos indirectos, y costos de contingencias. El costo directo incluye el costo de equipo comprado total (costo del equipo comprado principal más el costo del equipo auxiliar comprado), instrumentación y controles, y transportación e impuestos, y costos de instalación (cimentación y soportes, construcción y mantenimiento, eléctrico, tubería, aislamiento, y pintura).

La suma del costo de equipo comprado total, el costo de instrumentación y controles, y transportación e impuestos esta definida como el costo de compra total.

Los costos indirectos consisten de los costos de diseño de ingeniería y de supervisión, gastos del contratista de ingeniería y arquitecto, honorarios del contratista, gastos de construcción, y costos de prueba preliminar. Un ejemplo de costos de contingencia son las multas incurridas por falla de cumplimiento de fechas de terminación o especificaciones de funcionamiento.

El procedimiento de estimación de costo de capital presentado en este trabajo es para una estimación "factorada" o de "estudio". La exactitud normal para una estimación de tipo estudio es de  $\pm 30$  por ciento. Para determinar el costo de capital total por una estimación de costo factorado, una estimación exacta del costo comprado total es calculado y factores predeterminados son aplicados para determinar todos los otros elementos del costo de capital.

## 7.8.1a ESTRUCTURA DEL COSTO

La curva del costo para un filtro de tela a presión negativa la cual no incluye el costo de la bolsa ( $C_{11}$ ) aparece representada en la Figura (7.1).

El costo de la bolsa depende del tipo de tela empleado. Ver Tabla (7.8). Este costo debe ser sumado para obtener el costo del equipo comprado (PEC). Todos los costos del equipo auxiliar comprado (conducto de trabajo, ventilador, chimenea, y regulador de tiro), el costo de instrumentación y controles, y transporte e impuestos deben ser sumados para obtener el costo de compra total.

Clase	Tipo	Tipo de material						
		Dacron	Orlon	Nylon	Nomex	Vidrio	Polipropileno	Algodón
Estándar	Sacudimiento o mecánico < 20 000 ft <sup>2</sup>	0.40	0.65	0.75	1.15	0.50	0.65	0.45
Estándar	Sacudimiento o mecánico > 20 000 ft <sup>2</sup>	0.35	0.50	0.70	1.05	0.45	0.55	0.40
Estándar	Pulso-jet <sup>b</sup>	0.60	0.95	—	1.30	—	0.70	—
Aduanero	Sacudimiento o mecánico	0.25	0.35	0.45	0.65	0.30	0.35	0.40
Aduanero	Aire invertido	0.25	0.35	0.45	0.65	0.30	0.35	0.40

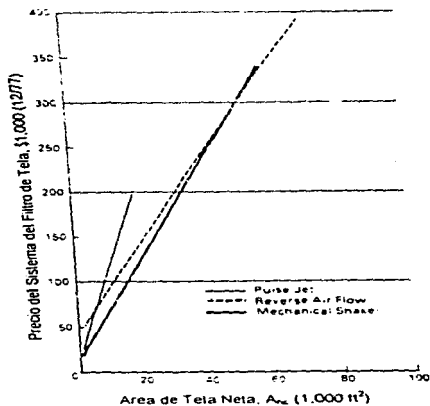
\* Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre 1986. Pág. 101.

<sup>b</sup> Para fieltro pesado, multiplicar la fuente por 1.5.

\* Precio base de Diciembre de 1977 (12/77).

El precio por pie cuadrado (12/77) de bolsas por tipo de tela y por tipo de sistema de limpieza usado está dado en la Tabla (7.8). Los precios representan alrededor de un 10% de variación.

Figura 7.1 PRECIOS PARA PRESION NEGATIVA DE SISTEMAS  
DE FILTROS DE TELA AISLADOS<sup>f</sup>



- Pulso Jet
- - - Fujo de Aire Invertido
- · · Sacudidor Mecánico

<sup>f</sup> Fuente: HANDBOOK. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pág. 101.

Al calcular el costo, el grueso de área el cual está determinado en la Tabla (6.7) debe ser usado. Estos costos son actualizados usando el índice de costo correspondiente. Para fines de este trabajo se actualizan los costos hasta el mes de Noviembre de 1996 (11/96 = 427.5). Como cambian las condiciones de mercado de la tela, los costos relativos de las telas cambian también una a otra. Los precios de las bolsas están basados en los pesos de las telas típicas, en onzas (peso de 28.35g)/yarda cuadrada, para el precio existente de la tela. Anillos cosidos en rápido están incluidos en el precio, pero otros equipos de montaje, como grapas o jaulas, no están incluidos.

#### 7.8.1b ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE EQUIPO COMPRADO (PEC) Y ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL TOTAL (TCC)

El costo total de equipo comprado (PEC) del sistema de filtro de tela es la suma de los costos de la casa de bolsas, las bolsas, equipo auxiliar, instrumentos y controles, impuestos y costos de transporte. Los factores necesarios para estimar los costos de capital directo e indirecto restantes para obtener los costos de capital total son suministrados en la Tabla (7.9) que aparece más adelante.

#### 7.8.2 ESTIMACION DEL COSTO ANUAL PARA SISTEMAS DE FILTROS DE TELA

Los costos anuales para un sistema de filtro de tela consisten de los costos de operación directos e indirectos estos costos son discutidos con detalle más abajo. La Tabla (7.10) suministra los factores de costo usados para estimar los costos anuales.

##### 7.8.2a ESTIMACION DEL COSTO DIRECTO

Los costos directos incluye servicios (electricidad, reemplazo de bolsas, aire comprimido), trabajo de operación y costos de mantenimiento.

El costo de electricidad es una función en gran parte de la necesidad de potencia del ventilador. La Ecuación (7.4) puede ser usada para estimar este requisito suponiendo un 65% de eficiencia motor-ventilador y una gravedad específica del fluido de 1.00.

$$F_P = 1.81 \times 10^{-4} (Q_{a,s})(\Delta P)(HRS)$$

(7.4)

Donde:

$P_v$  = potencia requerida por el ventilador, kWh/año

$Q_{e,a}$  = velocidad de flujo de la corriente de emisión, acfm

$\Delta P$  = caída de presión, in de  $H_2O$

HRS = horas de operación, h/año

Para sacudimiento mecánico, la energía adicional requerida puede ser estimada usando la Ecuación (7.5):

$$P_{ms} = 6.05 \cdot 10^{-6} (\text{HRS})(A_{tc}) \quad (7.5)$$

Donde:

$P_{ms}$  = potencia requerida por sacudimiento mecánico, kWh/año

$A_{tc}$  = grueso de área de tela,  $ft^2$

El costo de electricidad anual es calculado como la suma de  $P_v$  y  $P_{ms}$  multiplicado por el costo de electricidad dado en la Tabla (7.10).

Para un sistema pulso-jet, el consumo de aire comprimido es alrededor de 2 scfm/1000 scfm de la corriente de emisión. Por ejemplo, una corriente de 100 000 scfm consumirá alrededor de 200 scfm. Esto necesitaría entonces ser multiplicado por ambos 60 y HRS para obtener el consumo anual total. Este valor es multiplicado entonces por el costo de aire comprimido dado en la Tabla (7.10) para obtener costos anuales. Para otros mecanismos de limpieza, este consumo es supuesto como cero.

El costo de reposición de bolsas es obtenido a partir de la Ecuación (7.6):

$$C_{RB} = [C_B + C_L] CRF_B \quad (7.6)$$



Donde:

$C_{RB}$  = costo de reposición de la bolsa,  $\$/año$

$C_0$  = costo inicial de la bolsa,  $\$$

$C_L$  = trabajo de reemplazo de la bolsa,  $\$ (C_L = \$ 0.14 A_{nc})$

$CRF_n$  = factor de recuperación de capital, 0.5762 (indica una vida de dos años, 10% de interés)

El costo de trabajo de reemplazo de la bolsa depende de factores como el número, tamaño, y tipo de las bolsas, la accesibilidad de las bolsas, de cómo ellas están conectadas a la hoja del tubo, etc. En sí, estos costos son altamente variables. Por simplicidad, suponer conservadoramente un costo alto de  $\$0.14/ft^2$  de área de bolsa neta, por asesoramiento de la EPA.

El costo de trabajo de operación es estimado a partir de un trabajo requerido de 3 horas por turno de 8 horas y el nivel de salario del trabajo del operador es suministrado en la Tabla (7.12); la cual aparece más adelante. Los costos de supervisión son tomados como el 15% de los costos del trabajo del operador.

Tabla 7.9 Factores de Costo de Capital para Filtros de Tela (5)

<u>COSTOS DIRECTOS</u>	<u>FACTOR</u>
<b>COSTOS DE EQUIPO COMPRADO</b>	
Filtro de tela	Lo que sea estimado
Bolsas	Lo que sea estimado
Equipo auxiliar	Lo que sea estimado
	(EC = Suma de lo que sea estimado)
Instrumentos y controles	0 10 EC
Impuestos	0 03 EC
Transporte	<u>0 05 EC</u>
Costo de Equipo Comprado, PEC	PEC = 1.18 EC
<b>COSTOS DIRECTOS DE INSTALACION:</b>	
Cimientos y soportes	0 04 PEC
Construcción y manejo	0 50 PEC
Eléctrico	0 08 PEC
Tubería	0 01 PEC
Aislamiento para el conducto de trabajo <sup>†</sup>	0 07 PEC
Pintura <sup>†</sup>	0 02 PEC
Preparación del sitio (SP)	Lo que sea requerido
Edificios (Bldg.)	<u>Lo que sea requerido</u>
Costo Directo Total, DC	(0 72 PEC + SP + Bldg.) (1 72 PEC + SP + Bldg.)
<u><b>COSTOS INDIRECTOS</b></u>	
Ingeniería y supervisión	0 10 PEC
Construcción y gasto en campo	0 20 PEC
Derechos de construcción	0 10 PEC
Derechos de arranque	0 01 PEC
Prueba de eficiencia	0 01 PEC
Contingencias	<u>0 03 PEC</u>
Costo Indirecto Total, IC	0 45 PEC
Costo de Capital Total (TCC) = DC + IC	(2 17 PEC + SP + Bldg.)

(5) Fuente: HANDBOOK, Control Technologies For Hazardous Air Pollutans. EPA / 625 / 6-91 / 014. Junio 1991. Pág. 4-77.

- <sup>1</sup> Si las dimensiones del conducto de trabajo han sido establecidas, el costo puede ser establecido basado en \$10 a \$12/ft<sup>2</sup> de superficie para aplicación en campo. Las casas para ventiladores y chimeneas pueden también estar aisladas
- <sup>2</sup> El uso incrementado de capas puede aumentar este factor a 0.06 PEC o más alto

El costo de mantenimiento es estimado a partir de 1 hora requerida de trabajo de mantenimiento por turno de 8 horas y el nivel de salario suministrado en la Tabla (7.10). El costo de los materiales de mantenimiento es supuesto igual a los costos de trabajo de mantenimiento.

El costo de eliminación de polvo variará ampliamente de lugar a lugar. El lector debe hacer todo el esfuerzo para obtener costos aproximados para este punto ya que este costo será típicamente grande. Los costos típicos caen entre \$20/ton y \$30/ton para residuos no peligrosos, mientras que los costos para materiales peligrosos puede ser 10 veces esta cantidad.

#### **7.8.2b COSTOS INDIRECTOS**

Los costos indirectos consisten de gastos generales, costos administrativos, impuestos de propiedad, seguro, y recuperación de capital. La Tabla (7.10) que aparece a continuación proporciona los factores apropiados para estimar estos costos.

Tabla 7 10 Costos Anuales para Filtros de Tela*	
Detalle del Costo	Factor
<b>Costos Directos. DAC</b>	
<b>Servicios</b>	
Electricidad	\$ 0 059/kWh
Aire comprimido	\$ 0 16/10 <sup>3</sup> scfm
Reposición de partes, bolsas	Ver Sección 7 8 2
<b>Trabajo de Operación</b>	
Operador	\$ 12 96/h
Supervisor	15% del trabajo del operador
<b>Mantenimiento</b>	
Trabajo	\$ 14 26/h
Materia	100% del trabajo de mantenimiento
Disposición de Residuos	Variable. Ver Sección 7 8 2
<b>Costos Indirectos. IAC</b>	
Gastos Generales	0 60 (Trabajo de operación + mantenimiento)
Administrativos	2% de TCC
Impuestos de Propiedad	1% de TCC
Seguro	1% de TCC
Capital de recuperación <sup>b</sup>	0 1175 (TCC - 0 052C <sub>i</sub> - 1 08 C <sub>e</sub> )

\* Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-91 / 014. Junio 1991. Pág. 4-78.

<sup>b</sup> El factor de recuperación de capital es estimado como:  $j(1+j)^n / (1+j)^n - 1$   
Donde: j = tasa de interés, 10%  
n = vida del equipo, 20 años.

## 7.9 ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL Y ANUAL PARA LAVADORES VENTURI

Los costos de capital de un sistema lavador venturi consisten de los costos de equipo comprado y costos de instalación directos e indirectos. El costo anual consiste de los costos anuales directos e indirectos

### 7.9.1 ESTIMACION DEL COSTO DE CAPITAL DE LAVADORES VENTURI

Información de costo de equipo reciente sobre lavadores venturi no esta disponible. Por consiguiente, los estimados de costo del lavador venturi del vendedor son obtenidos como una función del flujo velocidad de la corriente de emisión. La curva de costo para lavadores venturi incluye el costo de instrumentación y controles, además del costo del equipo principal comprado. Ver Figura (7.2).

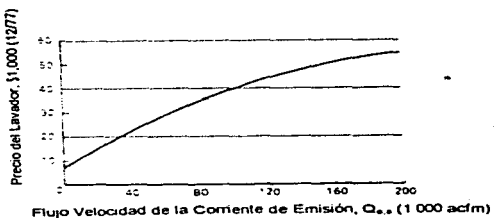
La curva de costo anterior esta basada en un lavador venturi construido de acero al carbón de 1/8 de pulgada

La Figura (7 3) es usada para determinar si el acero al carbón de 1/8 de pulgada es apropiado para una aplicación dada (usar la curva más alta) Si el espesor del acero es requerido, la Figura (7 4) da un factor de ajuste de precio para varios espesores de acero, este factor es usado para incrementar el costo obtenido de la Figura (7 2) Si acero inoxidable es requerido multiplicar el costo estimado del lavador por 2.3 para acero inoxidable 304L o por 3.2 para acero inoxidable 316L Los costos de todo el equipo auxiliar, transportación e impuestos deben ser adicionados para obtener el costo de compra total

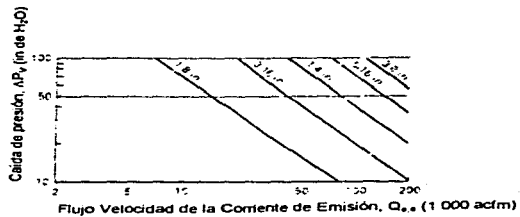
Consultar la Sección (7 10) para obtener costos de equipo auxiliar los cuales incluyen costos del conducto de trabajo, regulador de tiro, ventilador, chimenea, y ciclón (si es necesario) Para los fines de este trabajo no se toma en cuenta el ciclón

Para obtener los costos de capital, usar los factores de costos de instalación directos e indirectos tomados de las publicaciones EPA anteriores. Estos factores son suministrados en la Tabla (7 11).

Figura 7.2 PRECIOS PARA LAVADORES VENTURI<sup>5</sup>

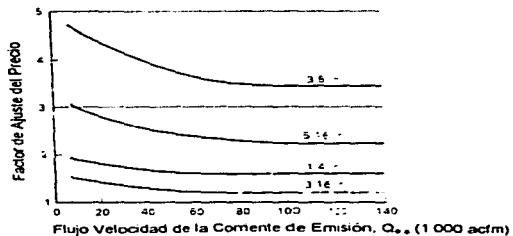


<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK, Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA/625/6-86/014. Septiembre de 1986. Pág. 102.

Figura 7.3 ESPESORES DE ACERO REQUERIDOS PARA LAVADORES VENTURI<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pág. 102.

Figura 7.4 FACTORES DE AJUSTE DE PRECIO PARA LAVADORES VENTURI<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Fuente: HANDBOOK, Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014, Septiembre de 1986, Pág. 102.



Tabla 7.11 Factores de Costo de Capital para Lavador Venturi*	
Detalle del costo	Factor
Costos Directos, DC	
Costos de Equipo Comprado	
Lavador Venturi + equipo auxiliar	Lo que sea estimado, EC
Instrumentación <sup>b</sup>	Incluido con EC
Impuesto sobre las ventas	0.03 EC
Transporte	0.05 EC
Costo de Equipo Comprado, PEC	1.08 EC
Costos de Instalación Directos	
Cimientos y soportes	0.06 PEC
Montaje y manejo	0.40 PEC
Eléctrico	0.01 PEC
Tubería	0.05 PEC
Aislamiento	0.03 PEC
Pintura	0.01 PEC
Preparación del sitio	Lo que sea requerido, SP
Edificios	Lo que sea requerido, Bldg
Total de Costos Directos	1.56 PEC + SP + Bldg.
Costos Indirectos, IC	
Ingeniería	0.10 PEC
Construcción	0.10 PEC
Derechos del contratista	0.10 PEC
Arranque	0.01 PEC
Prueba de eficiencia	0.01 PEC
Contingencias	0.03 PEC
Costo Indirecto Total, TIC	0.35 PEC
Costos de Capital Total	1.91 PEC + SP + Bldg

\* Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-91 / 014, Junio 1991, Pág. 4-96

<sup>b</sup> Si no está incluido en EC, estimarlo como el 10% del EC.

### 7.9.2 COSTOS ANUALES DE LAVADORES VENTURI

Los costos anuales para sistemas lavadores venturi consisten de costos anuales directos e indirectos. Los factores apropiados para estos costos son presentados en la Tabla (7.12), la cual aparece a continuación.

Tabla 7.12 Factores de Costo Anual para Lavadores Venturi\*

Detalle del Costos	Factor
Costos Anuales Directos, DAC	
Servicios	
Electricidad	\$ 0.059/kWh
Agua	\$ 0.20/10 <sup>3</sup> gal
Trabajo de Operación	
Trabajo del operador	\$ 12.96/h
Trabajo de supervisión	15% del trabajo del operador
Mantenimiento	
Trabajo	\$ 14.96/h
Materiales	100% del trabajo de mantenimiento
Tratamiento de agua residual	Variable. Consultar fuente para información específica
Costos Anuales Indirectos, IAC	
Gastos generales	0.60 (Trabajo de operación + mantenimiento)
Administrativos	2% de TCC
Seguro	1% de TCC
Impuesto de propiedad	1% de TCC
Recuperación de capital <sup>b</sup>	0.1628 (TCC)

\* Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-91 / 014, Junio 1991. Pág. 4-97.

### 7.9.2a ESTIMACION DEL COSTO ANUAL DIRECTO

Los costos anuales directos están compuestos de costos de servicios (electricidad y agua), trabajo de operación, y costos de mantenimiento. Los costos de disposición del agua residual están fuera del alcance de este trabajo.

Los costos de electricidad están en función de la potencia requerida del ventilador para mover el gas a través del sistema. Ver Sección (7.8.2a).

El consumo de agua de una lavador venturi es estimado a partir de la Ecuación (7.7). Esta Ecuación supone que 0.01 gal de agua son requeridos por acfm de flujo.

$$WR = 0.60 (Q_{e,a})(HRS)$$

(7.7)

Donde:

**WR = consumo de agua, gal/año**

La cantidad de trabajo del operador es estimado como 2 horas por 8 horas de turno. El nivel de salario del trabajo del operador esta proporcionado en la Tabla (7.12). Los costos de supervisión son supuestos como el 15% de los costos de trabajo del operador.

La cantidad de trabajo de mantenimiento es estimado como 1 hora por 8 horas de turno. El nivel de salario de mantenimiento es proporcionado por la Tabla (7.12). Los materiales de mantenimiento son supuestos iguales a los costos de mantenimiento.

El costo de disposición o tratamiento del agua es variable y no es discutido aquí. Los costos actuales pueden resultar bastante altos

#### **7.9.2b ESTIMACION DEL COSTO ANUAL INDIRECTO**

Estos costos consisten de los costos de gastos generales, cargas administrativas, impuestos de propiedad, y costos de recuperación de capital, ver Tabla (7.12).

#### **7.10 ESTIMACION DEL COSTO DEL EQUIPO AUXILIAR**

Para propósitos de este trabajo, el equipo auxiliar esta definido para incluir el costo del ventilador, ducto de trabajo, chimenea, y regulador de tiro. Estos costos deben ser estimados antes que el costo de equipo comprado (PEC) pueda ser calculado

El costo de compra del equipo auxiliar esta relacionado con la corriente de emisión y los parámetros del equipo. La Tabla (7.13) presenta los parámetros que deben ser conocidos para el costo del equipo auxiliar

Tabla 7.13 Identificación de parámetros de diseño para el equipo auxiliar<sup>5</sup>

Equipo auxiliar	Parámetros de diseño
Ventilador	Flujo velocidad actual de aire Caída de presión Velocidad de la corriente gaseosa
Ducto de trabajo	Diámetro Longitud Material de construcción
Chimenea	Diámetro Longitud Material de construcción
Regulador de Tiro	Diámetro del ducto de trabajo

<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK  
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014 Septiembre de 1986. Pág. 103.

Si los costos de equipo deben ser incrementados a el año actual, los índices de equipo de la Chemical Engineering (CE) pueden ser usados

#### 7.10.1 ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL VENTILADOR

El costo de compra del ventilador es una función de la velocidad del flujo movido por el ventilador y la caída de presión a través del sistema de control, ver Figura (7.5) El ventilador es supuesto para estar localizado en la corriente abajo del dispositivo de control final en el sistema de control. Por consiguiente, la capacidad del ventilador debe estar basada en el flujo velocidad del gas de salida en condiciones actuales del dispositivo de control final ( $Q_{g,s}$ ).

La caída de presión del sistema de control ( $\Delta P$ ) es el total de las caídas de presión a través de los diversos equipos del sistema de control, incluyendo la chimenea y el ducto de trabajo. La Tabla (7.14) presenta las caídas de presión moderadas a través de los componentes del sistema de control específico las cuales pueden ser usadas si datos específicos no están disponibles.

Tabla 7.14 Caidas de presión supuestas a través de varios componentes<sup>f</sup>

Componente del sistema	Caida de presión (in de H <sub>2</sub> O)
Chimenea	0.5
Ducto de Trabajo	0.5
Incinerador Térmico	4
Intercambiador de Calor	2
Incinerador Catalítico	6
Absorbedor	Variable
Adsorbedor de Carbón	6
Condensador	3
Filtro de Tela	6
Precipitador Electrostático	0.5
Lavador Venturi	$\Delta P_v$

<sup>f</sup> Fuente: HANDBOOK

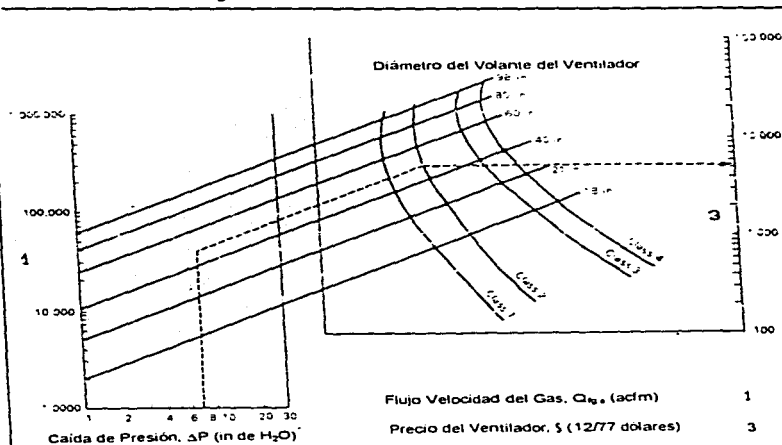
Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014, Septiembre de 1986. Pág. 105

Usando los parametros del flujo velocidad actual y la  $\Delta P$  total, se obtiene el costo de compra del ventilador a partir de la Figura (7.5). Los gases cargados de polvo son transportados principalmente a través de los sistemas de control de contaminación por medio de ventiladores centrifugos teniendo uno de los dos siguientes:

- a) Ventiladores de paletas curvas hacia atrás o
- b) ventiladores de paletas de punta radial

Aunque el ventilador curvo hacia atrás es el mas eficiente de los dos tipos, su diseño ó aplicación se restringe a el lado de la corriente abajo del controlador de contaminación primario, donde el gas esta relativamente libre de polvo. Estos ventiladores son clasificados en clases de I a IV según la presión estática liberada (pulgadas de agua) del sistema de control y la velocidad (ft/min). Ver Tabla (7.15)

Figura 7.5 PRECIOS DE VENTILADORES<sup>f</sup>



**Notas**

El precio del ventilador es más bajo a caídas de presión más altas porque el volante del ventilador más pequeño es usado a rpm más altas.  
Para alta temperatura ambiental adicionar 3% (250 °F a 600 °F)  
Para construcción de acero inoxidable multiplicar el precio por 2.5.

<sup>f</sup> Fuente: HANDBOOK, Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pág. 104.

Tabla 7.15 Clasificación de los ventiladores curvos hacia atrás<sup>f</sup>

Tipo de ventilador	Rango de funcionamiento <sup>a</sup> Anchura simple
I	De 5 in en 2 300 fpm a 2½ en 3 200 fpm
II	De 8½ in en 3 000 fpm a 4½ en 4 175 fpm
III	De 13½ in en 3 780 fpm a 6¼ en 5 260 fpm
IV	Especificaciones arriba del ventilador tipo III

<sup>f</sup> Fuente: HANDBOOK

Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA/625/6-86/014, Septiembre 1986, Pág. 104.

<sup>a</sup> Las designaciones del rango de funcionamiento están indicadas por la presión estática (pulgadas de agua) a la velocidad de salida del ventilador (pies por minuto).

Para estimar el costo del motor para el ventilador, multiplicar el costo del ventilador por el 15 %.

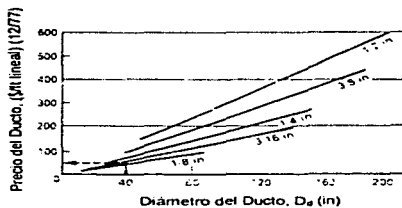
### 7.10.2 ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL CONDUCTO DE TRABAJO

El costo de compra del conducto de trabajo es típicamente proporcional a el peso del ducto de trabajo, el cual es una función de:

- El material de construcción
- La longitud
- El diámetro
- El espesor

Los ductos de acero al carbón son usados normalmente para gases no corrosivos a temperaturas abajo de 1150°F. Los ductos de acero inoxidable son usados generalmente con gases a temperaturas entre 1150°F a 1500°F, o si la corriente gaseosa contiene materiales corrosivos. Las Figuras (7.6) y (7.7) presentan los costos de compra para ductos de acero al carbón y acero inoxidable, respectivamente. Se supone que la mayor porción del ducto de trabajo es utilizado para transportar la corriente de emisión desde el proceso a el sistema de control; por lo tanto, el flujo velocidad de la corriente de emisión en condiciones actuales ( $Q_{..}$ ) es usado para el tamaño del ducto de trabajo.

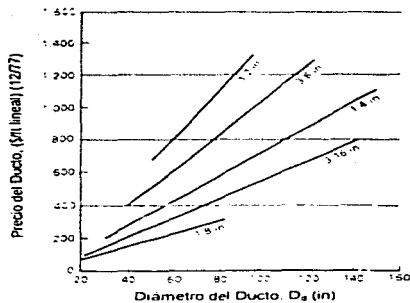
Figura 7.6 PRECIO DE FABRICACION DEL DUCTO RECTO DE ACERO  
AL CARBON A DIFERENTES ESPESORES<sup>F</sup>



<sup>F</sup> Fuente: HANDBOOK Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pág. 103.



Figura 7.7 PRECIO DE FABRICACION DEL DUCTO RECTO DE ACERO INOXIDABLE A DIFERENTES ESPESORES\*



\* Fuente HANDBOOK. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pag. 103.

Si no existe información específica, suponer los siguientes puntos para simplificar el procedimiento del costo.

- (1) El ducto de trabajo es construido con lámina de 3/16 de pulgada de espesor.
- (2) La longitud del ducto es igual a 100 pies (30.48 m).
- (3) El diámetro del ducto es calculado usando una velocidad del gas en el ducto de 2 000 ft/min. Por lo tanto:

$$D_{\text{duct}} = 12 (4Q_{\text{e.a.}} / 11 U_{\text{duct}})^{1/2} = 0.3028 (Q_{\text{e.a.}})^{1/2} \quad (7.8)$$

Donde:

$D_{\text{duct}}$  = diámetro del ducto, in

$Q_{\text{e.a.}}$  = flujo velocidad de la corriente de emisión en condiciones actuales, acfm

$U_{\text{duct}}$  = velocidad de la corriente gaseosa en el ducto, ft/min

### 7.10.3 ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DE LA CHIMENEA

Es difícil de obtener correlaciones de costo de chimenea porque las chimeneas son normalmente fabricadas a la medida. Chimeneas muy pequeñas son típicamente secciones de conductos de trabajo rectos con soportes. Las chimeneas son instaladas corriente arriba de los ventiladores para dispersar los gases de escape sobre el nivel del suelo inmediato y alrededores de edificios.

El costo de compra de la chimenea es una función de:

- (1) El material de construcción
- (2) Altura
- (3) Diámetro
- (4) Espesor de chimenea

En suma, las velocidades de salida mínimas de chimenea deben ser al menos 1.5 veces la velocidad del viento esperada; o por ejemplo, en el caso de vientos de 30 millas por hora (mph) la velocidad mínima de salida debe ser por lo menos 4 000 ft/min.

Para propósitos de este trabajo la chimenea es diseñada y costeadada con respecto al flujo velocidad en condiciones actuales del gas de salida de los dispositivos de control final ( $Q_{ig,a}$ ). Las Figuras (7.8) y (7.9) presentan los costos de compra para chimeneas de acero al carbón sin revestimiento

Si no se cuenta con información específica, suponer los siguientes puntos para simplificar el procedimiento del costo

- (1) La chimenea es construida con lámina de acero al carbón de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor.
- (2) La altura de la chimenea es igual a 50 pies (15.24 m).
- (3) El diámetro de chimenea es calculado usando una velocidad de salida de chimenea de 4 000 ft/min. Por lo tanto:

$$D_{chimenea} = 12 (4 Q_{ig,a} / 11 U_{chimenea})^{0.5} = 0.2141 (Q_{ig,a})^{0.5} \quad (7.9)$$

Donde:

$D_{chimenea}$  = Diámetro de chimenea, in

$Q_{ig,a}$  = flujo velocidad en condiciones actuales, acfm (ft<sup>3</sup>/min actuales)

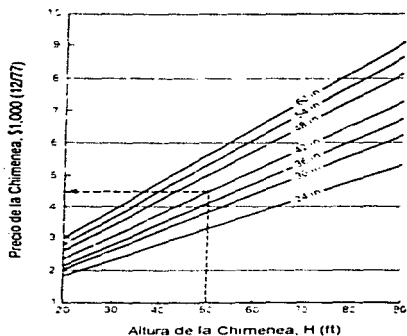
$U_{chimenea}$  = velocidad de la corriente gaseosa en la chimenea, ft/min

#### 7.10.4 ESTIMACION DEL COSTO DE COMPRA DEL REGULADOR DE TIRO

Los reguladores de tiro son comúnmente usados para desviar el flujo de aire en muchos sistemas industriales. Dos tipos de reguladores de tiro son discutidos abajo: reguladores de tiro de flujo de retroceso y válvula desviadora de dos vías. El costo del regulador de tiro de flujo de retroceso para diámetros de conducto entre 10 y 36 pulgadas esta dado en la Ecuación (7.9)

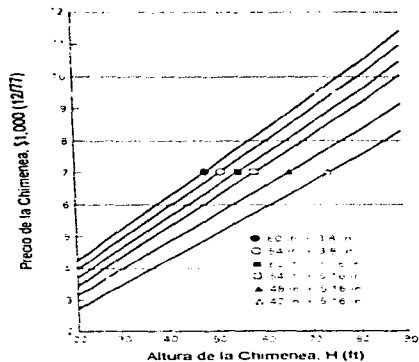
$$P_{damp} = 7.46 (d_{ducto})^{0.944} \quad (7.10)$$

Figura 7.8 PRECIO DE FABRICACION DE LA CHIMENEA DE ACERO AL  
CARBON PARA PLACA DE 1/4 DE PULGADA<sup>5</sup>



<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants  
EPA / 625 / 6-86 / 014. Septiembre de 1986. Pág. 105.

Figura 7.9 PRECIO DE FABRICACION DE LA CHIMENEA DE ACERO AL CARBON PARA PLACAS DE 5/16 in Y 3/8 in<sup>5</sup>



<sup>5</sup> Fuente: HANDBOOK Control Technologies for Hazardous Air Pollutants EPA / 625 / 6-86 / 014, Septiembre de 1986, Pag. 105.

Donde:

$P_{\text{damp}}$  = costo del regulador de tiro, Febrero de 1988, (\$).

$d_{\text{ducto}}$  = diámetro del conducto de trabajo, (in).

Los costos de una válvula desviadora de dos vías para diámetros de conducto de trabajo entre 13 y 40 pulgadas son dados en la Ecuación (7.11).

$$P_{\text{divert}} = 4.84 (d_{\text{ducto}})^{1.50} \quad (7.11)$$

Donde:

$P_{\text{divert}}$  = costo de la válvula desviadora de dos vías, Febrero de 1988 (\$).

$d_{\text{ducto}}$  = diámetro del conducto, (in).

## 7.11 EJEMPLO PROBLEMA

En esta Sección se evalúan los costos del problema en estudio del Capítulo 6.

### 7.11.1 RESULTADOS DEL CALCULO DEL COSTO DE CAPITAL Y ANUAL DEL FILTRO DE TELA

#### 7.11.1.1 COSTOS DE CAPITAL TOTAL

El Costo de Capital Total (TCC) de un sistema de casa de bolsas (baghouse) incluye la estructura de la casa de bolsas, el costo de las bolsas, equipo auxiliar, y los costos de instalación directos e indirectos.

El costo del equipo auxiliar es obtenido en la Sección (7.11.3) que aparece más adelante en este Capítulo.

La suma del costo del sistema de filtro de tela, el costo de las bolsas y el costo del equipo auxiliar es el costo del equipo (EC). La Tabla (7.9) contiene los factores necesarios para estimar el costo del equipo comprado (PEC) a partir del costo de equipo:

Costo del sistema del filtro de tela	= \$ 44 000 (12/77)
	= \$ 83 600 (11/96)
Costo de las bolsas. (C <sub>n</sub> )	= \$ 293 360 (12/77)
	= \$ 557 385 (11/96)
Costo del equipo. (EC)	= \$ 670 000 (11/96)
Costo del equipo comprado	= 1.18 (EC)
Costo de equipo comprado. (PEC)	= \$ 790 600

Los factores dados en la Tabla (7.9) son usados para estimar el Costo de Capital Total (TCC) de un sistema de casa de bolsas.

$$TCC = 2.17 (PEC) + SP + Bldg.$$

$$TCC = \$ 1 715 600 (11/96)$$

Los términos (SP) y (Bldg.) son igual a cero ya que se trata de una instalación ya construida.

#### 7.11.1.2 COSTOS ANUALES DEL FILTRO DE TELA

El costo anual de un sistema de filtro de tela consiste de los costos anuales directos e indirectos.

- COSTOS DIRECTOS

Los costos directos incluye los servicios, mano de obra de operación, y costos de mantenimiento.

El costo de electricidad anual es el producto de la electricidad anual usada, y el costo de la electricidad. La electricidad anual empleada es estimada usando la Ecuación (7.4).

$$\text{Costo de electricidad anual} = \$ 0.059 (F_p)$$

$$\begin{aligned}\text{Costo de electricidad anual} &= \$ 3\,360 \text{ (12/77)} \\ &= \$ 6\,380 \text{ (11/96)}\end{aligned}$$

Si un sacudimiento mecánico es usado, el requerimiento de potencia adicional ( $P_m$ ) en kWh/año debe ser sumado a ( $F_p$ ) para estimar el costo anual de electricidad empleada. Por lo tanto:

$$\begin{aligned}\text{Costo de electricidad anual} &= \$ (F_p + P_m) \\ \text{Costo de electricidad anual} &= \$ 3\,380 \text{ (12/77)} \\ &= \$ 6\,422 \text{ (11/96)}\end{aligned}$$

La Ecuación (7.6) es usada para estimar el costo de reemplazo de las bolsas, ( $C_{RB}$ ).

$$C_{RB} = \$ 321\,430 \text{ (11/96)}$$

El costo de mano de obra de operación es estimado considerando un requerimiento de mano de obra de 3h/por turno y la tasa de salario dada en la Tabla (7.10).

$$\text{Costo de mano de obra de operación} = [(3\text{h/por turno})/(8\text{h/por turno})](\text{HRS})(\$ 12.96/\text{h})$$

$$\begin{aligned}\text{Costo de mano de obra de operación} &= \$ 34\,020 \text{ (3}^{\text{ER}} \text{ Cuarto de 1986)} \\ &= \$ 43\,300 \text{ (11/96)}\end{aligned}$$

$$\text{Costos de supervisión} = 0.15 \text{ (costo de mano de obra de operación)}$$

$$\text{Costos de supervisión} = \$ 6\,500 \text{ (11/96)}$$

Los costos de mantenimiento son estimados usando un requerimiento de mantenimiento de 1 hora por turno y la tasa de salario dada en la Tabla (7.10). Los materiales de mantenimiento son iguales al 100% de este costo

$$\text{Costo de mano de obra de mantenimiento} = [(1\text{h/por turno})/(8\text{h/por turno})](\text{HRS})(\$ 14.26/\text{h})$$

$$\begin{aligned}\text{Costo de mano de obra de mantenimiento} &= \$ 12\,500 \text{ (3}^{\text{ER}} \text{ Cuarto de 1986)} \\ &= \$ 15\,910 \text{ (11/96)}\end{aligned}$$



**Materiales de mantenimiento = 1 0 (costo de la mano de obra de mantenimiento)**

**Materiales de mantenimiento = \$ 15 910 (11/96).**

Los costos para la disposición de residuos debe ser estimado para cada servicio sobre una base caso por caso, ya que estos costos varían ampliamente. Si la información no puede ser hallada este costo puede ser estimado usando un factor de \$ 200/ton para residuos peligrosos.

• **COSTOS INDIRECTOS**

Estos costos son obtenidos a partir de los factores proporcionados por la Tabla (7.10).

**Gastos generales = \$ 35 530 (11/96)**

**Impuestos de propiedad = \$ 17 160 (11/96)**

**Gastos administrativos = \$ 34 312 (11/96)**

**Seguro = \$ 17 160 (11/96)**

**Recuperación de capital = \$ 130 850 (11/96)**

**Costos Indirectos Totales = \$ 235 012 (11/96)**

La recuperación de créditos puede ser significativa, pero son altamente variables y dependen de las condiciones específicas del lugar.

**TAC = Costos Directos Totales + Costos Indirectos Totales - Recuperación de Créditos**

**TAC = 1.72 PEC + Costos indirectos totales - Recuperación de Créditos**

**TAC = \$ 1 463 994 (11/96)**

7.11.2 RESULTADOS DEL CALCULO DEL COSTO DE  
CAPITAL Y ANUAL DEL LAVADOR VENTURI

7.11.2.1 COSTO DE CAPITAL PARA EL LAVADOR VENTURI

El costo de capital de un sistema lavador Venturi consiste de los costos de equipo comprado y los costos de instalacion directos e indirectos.

El costo de equipo comprado (PEC) esta compuesto de los costos del equipo y el costo del impuesto sobre las ventas y el transporte. El costo del equipo (EC) es la suma del costo del lavador obtenido a partir de la Figura (7 2) y el costo del equipo auxiliar (Aex), obtenido en la Seccion (7 11 3). La Tabla (7 11) proporciona los factores necesarios para estimar el (PEC)

Suponiendo construcción de acero al carbón

1. Costo del lavador Venturi, (VSC). Ver Figura (7.2)

$$\begin{aligned}\text{Costo del lavador venturi, (VSC)} &= \$ 9 500 (12/77) \\ &= \$ 18 050 (11/96)\end{aligned}$$

2. Costo del equipo, (EC) = VSC + Aex

$$EC = \$ 45 950 (11/96)$$

3. Costo de equipo comprado, PEC = 1.08 (EC)

$$PEC = \$ 49 630 (11/96)$$

Los factores dados en la Tabla (7.11) son empleados para estimar el costo de capital total, (TCC)

$$TCC = 1.91 (PEC) + SP + Bldg.$$

$$TCC = \$ 94 800$$

De forma semejante los términos SP y Bldg. valen cero por la razón antes descrita.

7.11.2.2 COSTOS ANUALES PARA EL LAVADOR VENTURI

El costo anual de un sistema lavador Venturi consiste de los costos anuales directos e indirectos.

- COSTOS DIRECTOS

Los costos directos incluyen la electricidad, el agua, y los costos de mano de obra de operación y mantenimiento

El costo de electricidad anual es estimado usando la Ecuación (7.4).

El consumo de agua para el lavador venturi es estimado a partir de la Ecuación (7.7).

$$WR = 30\,000\,000 \text{ gal/año}$$

Por lo tanto el costo de agua anual es: \$ 6 000

Costos de operación:

$$\text{Costos de trabajo de operación} = [(2\text{h/por turno})/(8\text{h/por turno})](\text{HRS})(\$ 12.96/\text{h})$$

$$\begin{aligned} \text{Costos de trabajo de operación} &= \$ 22\,680 \text{ (3}^{\text{ER}} \text{ Cuarto de 1986)} \\ &= \$ 28\,870 \text{ (11/96)} \end{aligned}$$

$$\text{Costos de supervision} = 0.15 \text{ (costos de trabajo de operación)}$$

$$\text{Costos de supervision} = \$ 4\,330 \text{ (11/96)}$$

Costos de mantenimiento

$$\text{Costos de trabajo de mantenimiento} = [(1\text{h/por turno})/(8\text{h/por turno})](\text{HRS})(\$ 14.26/\text{h})$$

$$\text{Costos de trabajo de mantenimiento} = \$ 12\,480$$

$$\text{Materiales de mantenimiento} = 1.0 \text{ (costo de trabajo de mantenimiento)}$$

$$\text{Materiales de mantenimiento} = \$ 12\,480$$

$$\text{Costos Directos Totales} = \$ 77\,423 \text{ (11/96)}$$

• **COSTOS INDIRECTOS**

Estos costos son obtenidos a partir de los factores proporcionados por la Tabla (7.12)

Gastos generales = \$ 24 810 (11/96)

Gastos administrativos = \$ 1896

Impuestos de propiedad = \$ 948

Seguro = \$ 948

Recuperación de capital = \$ 15 433

Costos Indirectos Totales = \$ 44 035 (11/96)

Costos Anuales Totales = Costos Directos Totales + Costos Indirectos Totales

Costos Anuales Totales = \$ 121 460 (11/96)

**7.11.3 RESULTADOS DEL CALCULO DE LOS COSTOS PARA EL EQUIPO AUXILIAR**

El equipo auxiliar esta definido para incluir ventilador, conducto de trabajo, chimenea, y regulador de tiro.

**7.11.3.1 COSTO DE COMPRA DEL VENTILADOR**

Costo del ventilador = \$ 2 800 (12/77)  
= \$ 5 320 (11/96)

Costo del motor = \$ 3 320 (12/77)  
= \$ 6 118 (11/96)

## 7.11.3.2 COSTO DE COMPRA DEL CONDUCTO DE TRABAJO

$$\begin{aligned} \text{Costo del conducto de trabajo} &= \$ 5\,000 \text{ (12/77)} \\ &= \$ 9\,500 \text{ (11/96)} \end{aligned}$$

## 7.11.3.3 COSTO DE COMPRA DE LA CHIMENEA

Para chimeneas pequeñas, estimar el costo de la chimenea como 150% del costo del conducto de trabajo

$$\text{Costo de la chimenea} = 1.5 (\$ 9\,500) = \$ 14\,250$$

## 7.11.3.4 COSTO DE COMPRA DEL REGULADOR DE TIRO

$$\begin{aligned} \text{Costo de compra del regulador de tiro} &= \$ 581 \text{ (02/88)} \\ &= \$ 683 \text{ (11/96)} \end{aligned}$$

En la Tabla (7.16) aparece un Cuadro Resumen de los costos del equipo principal y auxiliar.

Tabla 7.16 Cuadro Resumen de los costos del equipo principal y auxiliar	
EQUIPO	COSTO* (\$)
FILTRO DE TELA	83 600
LAVADOR VENTURI	18 050
VENTILADOR CON MOTOR	11 438
DUCTO DE TRABAJO	9 500
CHIMENEA	14 250
REGULADOR DE TIRO	683

\* Costos actualizados hasta Noviembre de 1996 (11/96).

# 8 CONCLUSIONES

La contaminación atmosférica es en la actualidad un problema de dimensiones mundiales, el cual afecta en mayor o menor proporción a todos los países.

Actualmente el hombre tiene el poder y la tecnología tanto para desarrollar productos y servicios para vivir con comodidad y como consecuencia cambiar su ambiente a escala global; entre las principales consecuencias de la contaminación atmosférica se encuentran el agotamiento de la capa de ozono y el cambio global del clima.

Si no se controla la contaminación del aire se seguirán repitiendo los casos de muertes masivas en las grandes ciudades.

El cambio global del clima o calentamiento global ocasionado por el llamado "efecto invernadero" se refiere a la retención de la radiación infrarroja por ciertos gases en la atmósfera antes de que el calor sea liberado al espacio.

Los principales gases contribuyentes al calentamiento global son el dióxido de carbono, metano, óxido nítrico y vapor de agua. Las principales fuentes de emisión del dióxido de carbono a la atmósfera son el uso de combustibles fósiles, combustibles líquidos derivados del petróleo y en menor grado el gas natural.

La mayor parte de los contaminantes del aire de origen antropogénico se generan en procesos de combustión, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, tales como los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos no quemados y eventualmente monóxido de carbono y material particulado.

Los problemas de la contaminación atmosférica, se deben en gran medida a un crecimiento no planeado de grandes ciudades (como el caso de la ciudad de México), en donde por las condiciones naturales (geográficas y atmosféricas) no es posible la adecuada dispersión de los contaminantes generados, lo que trae como consecuencia el aumento en las concentraciones de los mismos.

Es importante conocer también los mecanismos o procesos naturales de remoción de los contaminantes atmosféricos, así como los patrones de dispersión atmosférica existentes para cada lugar ya que esto nos proporcionará una base sobre los posibles efectos de los contaminantes sobre una región, así como la extensión que podría verse afectada.

Un requisito para poder establecer la magnitud del problema de contaminación es el conocer los contaminantes existentes, las fuentes que los producen y emiten, sus características fisicoquímicas y de transporte, así como sus posibles efectos en la vegetación, fauna, seres humanos y materiales, considerando para esto tanto sus efectos individuales como en conjunto (sinérgicos).

Desgraciadamente, en México no existe la infraestructura para instrumentar y mejorar los sistemas de recolección, ni la concientización de la población y aun menos por parte del gobierno para una separación selectiva de los residuos que pueden ser susceptibles de recuperarse o reciclarse.

El manejo de los residuos biológicos-infecciosos se hace en forma desastrosa e irresponsable, sin considerar los peligros que ello conlleva.

En México, si se desea una solución a la problemática de los residuos biológicos-infecciosos, es necesaria la participación social, la democratización de la sociedad, la educación ecológica, el financiamiento adecuado, el oportuno y transparente manejo o disposición final de dichos residuos, sin esto todo lo que se haga es demagogia.

El pésimo manejo actual de los residuos biológicos-infecciosos o patológicos expone a la población a contagios masivos y propagación de epidemias con graves consecuencias.

El proceso de incineración de residuos sólidos queda definido en forma completa, como un proceso controlado de termodestrucción, mediante la cual se reducen el peso y el volumen de los residuos, por la acción directa del fuego. El concepto teórico de la incineración establece una reacción química entre el combustible o sea la basura que libera energía térmica al quemarse, y el comburente, el oxígeno que favorece la combustión.

En México, la incineración de residuos sólidos, se conoce desde hace mucho tiempo, y es el método tradicional más confiable para disponer de ellos, principalmente los provenientes de hospitales o instituciones médicas. Sin embargo, los incineradores que existen actualmente con una antigüedad mínima de 10 años no tienen el diseño adecuado para termodestruir este tipo de residuos y poder cumplir con la normatividad vigente.

Esta termodestrucción es una técnica confiable para la eliminación de residuos contaminantes del suelo, así como de los residuos hospitalarios biológicos-infecciosos, hecho por el cual, los utensilios y materiales hospitalarios, se fabrican en forma tal que al final de su vida útil sean termodestructibles.

Aunque el principio térmico de destrucción de residuos es el mismo, existen varios tipos de incineración, dependiendo de las condiciones externas en las cuales se desarrolle el proceso

En los países desarrollados, se utilizan plantas incineradoras de residuos sólidos, con el propósito de auxiliar a los servicios públicos de recolección de residuos, eliminando a los residuos que no se degradan rápidamente, así como recuperar energía térmica para generar electricidad a partir de la combustión de los residuos.

La experiencia que éstos países han adquirido, es muy amplia, y por eso, perfeccionan día con día las tecnologías de sus incineradores y de sus plantas de incineración, aunque aun en estos países el problema no está totalmente solucionado.

La Legislación Internacional es muy estricta para las emisiones en chimenea de los incineradores de residuos.

La Legislación Nacional Ambiental, prevé la incineración, como un método auxiliar para la eliminación y disminución del volumen de residuos sólidos, especialmente los que se generan en los hospitales, rastros, granjas, etc., y que por su naturaleza representan un riesgo biológico -infeccioso a la salud humana.

Hasta el día de hoy no existen en México parámetros máximos permisibles vigentes para emisiones en las chimeneas de los incineradores que presten este servicio en hospitales ni tampoco se cuenta con un seguimiento de los ya existentes en cuanto a sus emisiones ni en lo referente a si existen equipos de control y de que tipo son estos.

Las emisiones en chimenea de un incinerador de residuos biológicos-infecciosos son: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas, hidrocarburos totales, ácido clorhídrico, metales pesados, dioxinas y furanos.

Las emisiones en chimenea de un incinerador que opera bien, representa un grave peligro por el tipo de contaminantes que emiten para la salud humana; cuando opera mal el problema es cientos de veces más grave, ya que en el país no se tienen estadísticas de la cantidad de dioxinas o furanos que se puedan formar debido a la mala operación.

Se recomienda homogeneizar en línea antes de alimentar los residuos sólidos hospitalarios al incinerador.

Sólo con una eficiente combustión de residuos biológicos-infecciosos, es posible garantizar la mínima emisión de dioxinas y furanos.

Con los residuos sólidos hospitalarios la regla de las tres "T's" de la combustión no se cumplen.



El desarrollo de un sistema de control de contaminación involucra una evaluación de ingeniería de varios factores lo cual abarca a un sistema completo, esto es, incluye la investigación de la fuente de combustión, determinación de las propiedades de las emisiones contaminantes, diseño de los sistemas de transferencia y colección y selección del dispositivo de control de gases de combustión para cumplir con las normas ambientales.

La responsabilidad clave del ingeniero de diseño es investigar los contaminantes y el volumen total emitido de estos, ya que el tamaño del equipo está directamente relacionado con el volumen y tipo de residuo que será tratado y así los costos del equipo pueden ser reducidos por la disminución del volumen de los gases. Similarmente, las etapas de tratamiento están relacionadas a la cantidad de contaminantes que deben ser removidos.

Para llevar a cabo una estrategia de control adecuada es necesario, determinar el problema que se tiene en cuanto a emisiones contaminantes, lo cual se logra identificando y cuantificando los diferentes contaminantes que se estén emitiendo, para tal efecto se debe hacer uso de las técnicas de muestreo en fuentes fijas que se emiten en las normas NOM-AA-09, NOM-AA-10, NOM-AA-35, NOM-AA-54, NOM-AA-114, que son editadas por la autoridad correspondiente.

El equipo de control de contaminación del aire, es clasificado en dos grandes categorías, aquellos adecuados para remover partículas y aquellos asociados con la remoción de contaminantes gaseosos.

Las partículas son generalmente removidas por fuerzas mecánicas, mientras que los contaminantes gaseosos pueden ser removidos por medios fisicoquímicos.

Como regla general, se establece que las partículas más grandes pueden ser removidas con dispositivos de baja energía (prelimpiadores) tales como cámaras de sedimentación, ciclones y cámaras de rocío.

El tamaño de las partículas determina la fuerza de separación requerida, mientras que la efectividad del equipo de control está relacionada tanto al tamaño de las partículas como a la velocidad de la corriente.

Las partículas más pequeñas pueden ser removidas con unidades de alta energía (más eficientes) tales como casas de bolsas, precipitadores electrostáticos y lavadores.

El control de las emisiones con un lavador venturi y filtro de tela son suficientes para garantizar una eficiencia del 99.9% de las emisiones en chimenea.

La erosión por el polvo y el ataque químico a los materiales no apropiados empleados en la construcción de la garganta del lavador venturi, son las principales consideraciones en la selección y diseño.

La eficiencia del lavador esta determinada por la energía total que consume, ya sea en forma de energía para atomizar el agua o en pérdida de presión a través del lavador

La vida de la casa de filtración esta determinada por una combinación del ataque químico del polvo y gas y el esfuerzo mecánico impuesto por el servicio de limpieza.

El costo de las telas de filtración contribuye considerablemente en el precio de compra total. Es importante antes de seleccionar el equipo de control, determinar la eficiencia que tal dispositivo podrá ofrecer al menor costo para cumplir con las normas en materia de protección ambiental

Cualquiera que sea la razón para instalar una planta de limpieza del gas debe establecerse un estándar mínimo de limpieza requerida, ya que normalmente la inversión de capital y los costos de operación aumentan a medida que también aumenta la eficiencia exigida.

Los diseños comerciales se basan casi por completo en la experiencia practica y por esta razón los lectores o interesados en esta área deberan consultar a cualquiera de los fabricantes especializados cuando necesiten un equipo de limpieza.

# BIBLIOGRAFIA

1. Anthony J. Buonicore, Wayne T. Davis. Air Pollution Engineering Manual. Van Nostrand Reinhold.
2. Arthur C. Stern. Air Pollution. Volumen IV. 3<sup>ra</sup> edición. Academic Press, año 1977. Pp. 149-188, 189-291, 329-363, 365-376, 531-593.
3. Drs. Amos Turk, Jonathan Turk y Janet T. Wittes. Ecología-Contaminación-Medio Ambiente. Interamericana. México, D.F., 1986. Pp. 83-114, 141-152.
4. Joseph P. Reynolds, R. Ryan Dupont y Louis Theodore. Hazardous Waste Incineration Calculations. John Wiley & Sons, INC. Pp. 131-142.
5. Conrad P. Straub. Practical Handbook of Environmental Control. CRC. Pp. 3, 434.
6. Juan A. del Giorgio. CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA. Métodos de medida y redes de vigilancia. Alhambra. Pág. 2.
7. Kenneth Wark y Cecil F. Warner. CONTAMINACION DEL AIRE. Origen y control. Limusa. Pp. 18, 19, y 23.
8. Esber I. Shaheen y Penn Well Books. Technologies of Environmental Pollution Control. Pp. X, 1-3.

9. W. Strauss y S.J. Mainwaring. Contaminación del aire. Trillas. Pp. 9-12, 21-40.
10. Maurizio Caselli. La contaminación atmosférica. Siglo Veintiuno. Pp. 9-23, 28, 29, 38-56.
11. Pedro César Cantú Martínez. Contaminación ambiental. Diana. Pp. 26-29, 51-55.
12. C.S. Rao. Environmental Pollution Control Engineering. John Wiley & SONS. Pp. 396-408.
13. Donal T. Sawyer y Arthur E. Martell. Industrial Environmental Chemistry. Waste Minimization in Industrial Processes and Remediation of Hazardous Waste. Plenum Press.
14. H. Stephen y Spencer L. Seager. QUIMICA AMBIENTAL. Contaminación del aire y del agua. Editorial BLUME. Pp. 11-145.
15. Reymundo Salas Mornes, et al. LA CIUDAD DE MEXICO. Un esbozo de sus problemas ambientales. U.N.A.M. Pp. 46-56.
16. Jerome O. Nriagu. GASEOUS POLLUTANTS. Characterization and Cycling. John Wiley & SONS, INC. Pp. 461-473.
17. Stanley E. Manahan. Hazardous Waste Chemistry, Toxicology and Treatment. Lewin Publishers. Pp 315-341.
18. William M. Vatavuk (1980). Estimating costs of air-pollution control systems. Part II: Factors for estimating capital and operating costs. Chemical Engineering, 87(22): 157-162.
19. EPA/625/6-91/014 Handbook. Control Technologies for Hazardous Air Pollutants. Junio 1991. Pp. 4-64 — 4-79, 4-90 — 4-101.
20. Edward J. Martin y James H. Johnson, Jr. Hazardous Waste Management Engineering. Van Nostrand Reinhold. Pp. 227-316.

21. William D. Robinson. The Solid Waste Handbook. John Wiley & SONS.
22. Baghouse Technology WHAT YUO NEED TO KNOW BHA Group inn. 8800 East 63rd ST Kansas City November 1993. Pp. 1-16.
23. Cristina Cortinas de Nava y Vega Gleason Sylvia. RESIDUOS PELIGROSOS EN EL MUNDO Y EN MEXICO. Sedesol - I.N.E México D.F. 1993.
24. Alicia Aguilar Luz. EL UNIVERSAL. Falsos Indices de Contaminación de D.F. Greenpeace. Ambientalistas Examinaron la Calidad del Aire con un Laboratorio Móvil. México.D.F., a 22 de Noviembre de 1994.
25. Richard A. Conway, Richard D. Ross. HANDBOOK OF INDUSTRIAL WASTE DISPOSAL Van Nostrand Reinhold.
26. Harry M. Freeman. STANDARD HANDBOOK OF HAZARDOUS WASTE TREATMENT AND DISPOSAL. Mc Graw-Hill 1989.
27. William D. Robinson P.E THE SOLID WASTE HANDBOOK. John Wiley y Sons 1986.
28. Rubens S. Ramalho INTRODUCTION TO WASTEWATER TREATMENT PROCESSES. Academia Press INC 1991
29. Albert Parker. CONTAMINACION DEL AIRE POR LA INDUSTRIA. Editorial Reverté, 1983. Pp. 225-294, 621-642.
30. Cristina Cortinas de Nava. LO QUE A USTED LE CONVIENE SABER SOBRE LOS RESIDUOS Y SU LEGISLACION AMBIENTAL I N. E.-SEMARNAP. Pp 1-12.
31. Francisco Javier Marin Guzman. DISEÑO TECNICO-AMBIENTAL PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL ESTADO DE MEXICO México, D.F., Año 1995. (Tesis de la Facultad de Química).
32. Calvin R. Brunner. INCINERATION TODAY'S HOT OPTION FOR WASTE DISPOSAL. Chemical Engineering. Octubre 12 de 1987.

- 33 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (y Disposiciones Complementarias) 1994. Editorial Porrúa
- 34 Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL 1995 Que establece el manejo de los residuos peligrosos Biológicos -Infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención medica
- 35 Diario Oficial de la Federación Normas Oficiales en Materia de Protección Ambiental Pp. 2-96. México D F . 22 de Octubre de 1993
- 36 Diario Oficial de la Federación Pp 9-23, México, D.F., 19 de Agosto de 1994.
- 37 Diario Oficial de la Federación. (Primera Sección ) Pp. 5-9. México, D.F., 29 de Noviembre de 1994.
- 38 Diario Oficial de la Federación. Pp. 2-16, México, D.F., 20 de Septiembre de 1995.
- 39 Diario Oficial de la Federación. Pp. 2-11, México, D.F., 23 de Octubre de 1995.
- 40 Diario Oficial de la Federación Pp. 48-82, México, D.F., 1 de Noviembre de 1995.
- 41 Diario Oficial de la Federación. Pp. 2-43, México, D.F., 13 de Diciembre de 1996.
- 42 Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-ECOL/95  
Que regula el control interno y el tratamiento por oxidación térmica de residuos sólidos municipales, residuos peligrosos e industriales no peligrosos, estableciendo límites máximos permisibles de emisión a la atmosfera en establecimientos que realicen esta actividad o que presten este servicio. Pp. 1-33.