

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
 CURSOS ABIERTOS  
**CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL**  
 Del 5 de septiembre al 5 de octubre de 1994.

F E C H A	H O R A R I O	T E M A	P R O F E S O R
Lunes 5	17:00 a 18:00 hrs. 18:00 a 21:00 hrs.	Introducción Naturaleza de la contaminación (aire, agua, desechos sólidos y desechos peligrosos).	Ing. Martiniano Aguilar Rodríguez Ing. Miguel A. Castillo M.
Martes 6	17:00 a 21:00 hrs.	Naturaleza de la contaminación (aire, agua, desechos sólidos, desechos peligrosos). Regulaciones que gobiernan las emisiones contaminantes	Ing. Martiniano Aguilar Rdz. Ing. Francisco Escalante
Miércoles 7	17:00 a 21:00 hrs.	Regulaciones que gobiernan las emisiones contaminantes Métodos de control de la contaminación del aire.	Ing. Francisco Escalante
Jueves 8	17:00 a 21:00 hrs.	Métodos de control de la contaminación del aire.	Ing. Francisco Escalante
Viernes 9	17:00 a 21:00 hrs.	Métodos de control de la contaminación del agua.	Ing. Miguel A. Castillo M.
Lunes 12	17:00 a 21:00 hrs.	Disposición de desechos sólidos y peligrosos.	Ing. Martiniano Aguilar Rdz.

**EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE**

CURSO: Certificacion de Peritos en Riesgo Ambiental

FECHA: Del 5 de septiembre al 5 de octubre de 1994.

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
Ing. Martiniano Aguilar Rodríguez				
Ing. Miguel A. Castillo M.				
Ing. Francisco Escalante				

**EVALUACION DE LA ENSEÑANZA**

ORGANIZACION Y DESARROLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL CURSO	
ACTUALIZACION DEL CURSO	
APLICACION PRACTICA DEL CURSO	

**EVALUACION DEL CURSO**

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

1.- ¿LE AGRADO SU ESTANCIA EN LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA?

SI	NO
----	----

SI INDICA QUE "NO" DIGA PORQUE.

2.- MEDIO A TRAVES DEL CUAL SE ENTERO DEL CURSO:

PERIODICO EXCELSIOR		FOLLETO ANUAL		GACETA UNAM		OTRO MEDIO	
PERIODICO EL UNIVERSAL		FOLLETO DEL CURSO		REVISTAS TECNICAS			

3.- ¿QUE CAMBIOS SUGERIRIA AL CURSO PARA MEJORARLO? .

---

---

4.- ¿RECOMENDARIA EL CURSO A OTRA(S) PERSONA(S)?

SI		NO	
----	--	----	--

5.- ¿QUE CURSOS LE SERVIRIA QUE PROGRAMARA LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA.

---

---

6.- OTRAS SUGERENCIAS:

---

---

~~DIVISION DE EDUCACION CONTINUA~~  
CURSOS ABIERTOS  
CERTIFICACION COMO PERITO EN RIESGO AMBIENTAL  
MODULO I  
DEL 5 AL 12 DE SEPTIEMBRE DE 1994.  
DIRECTORIO DE PROFESORES

ING. MARTINIANO AGUILAR RODRIGUEZ  
CONSULTOR INDEPENDIENTE  
NUBE 53  
COL. SAN JERONIMO  
10610 MEXICO, D.F.  
TEL. 595 32 20

ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL  
JUBILADO POR LA COM. FED. DE ELECTRICIDAD  
SILVESTRE AGUILAR VARGAS 200  
COL. CONSTITUCION DE 1917  
09270 MEXICO, D.F.  
TEL. 691 80 20

ING. FRANCISCO ESCALANTE M.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
CERTIFICACION COMO PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL  
DEL 5 AL 12 DE SEPTIEMBRE DE 1994.  
MODULO  
DIRECTORIO DE ASISTENTES

ALBERTO AGUILAR PATIÑO  
JEFE DE SECCION MECANICA  
INST. MEX. DEL PETROLEO  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152  
SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
07730 MEXICO, D.F.  
TEL. 568 59 11, 20966

ING. LUIS B. ARGUELLES MEDRANO  
DIRECTOR  
ARNA MEXICANA, S.A. DE C.V.  
CAPULIN 46-608  
COL. DEL VALLE  
03120 MEXICO, D.F.  
TEL. 575 42 26

ING. ANA LUCIA ACOSTA CHAVEZ  
ACADEMICO  
FES ZARAGOZA, UNAM  
BATALLON 5 DE MAYO ESQ.  
FUERTE DE LORETO  
COL. EJERCITO DE ORIENTE  
09230 MEXICO, D.F.  
TEL. 745 82 46

ING. GLORIA E. AVELINO Y ZAPATA  
INVESTIGADOR  
INST. MEX. DEL PETROLEO  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152  
COL. ATEPEHUACAN  
07730 MEXICO, D.F.  
TEL. 368 59 11

QUIM. YOLANDA S. CARMONA QUIROZ  
INDEPENDIENTE  
SUR 26 A NO. 68  
COL. AGRICOLA ORIENTAL  
08500 MEXICO, D.F.  
TEL. 558 58 77

ING. JORGE CEBRIAN AGUIAR  
DIRECTOR GENERAL  
POR SU CUENTA  
BLVRD. A. LOPEZ M. 205 PISO 2  
SAN PEDRO DE LOS PINOS  
10380 MEXICO, D.F.  
TEL. 516 58 57

ING. GUILLERMO CHAVEZ SALCEDO  
DIRECTOR DE LA DIVISION DE  
ECOLOGIA AMBIENTAL  
UNIV. TEC. DE NEZAHUALCOYOTL  
CTO. UNIV. TEC. DE NEZA.S/N  
COL. BENITO JUAREZ  
57000 MPIO. NEZAHUALCOYOTL  
TEL. 730 16 74

BIO. GABRIELA M.T. CEDILLO PONCE  
ASESORA EN CONTROL AMBIENTAL  
SISCCOM  
SAN FRANCISCO 29  
COL. AHUIZOTLA  
53378 NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO  
TEL. 822 21 50

AIDA ARACELI DELGADO NUÑEZ  
AUDITOR AMBIENTAL  
AUDITORIA, MONITOREO Y  
CONTROL DE CONTAMINACION, S.A.  
EXTREMADURA 149  
COL. INSURGENTES MIXCOAC  
03920 MEXICO, D.F.  
TEL. 598 46 12

ISMAEL ESTRADA HERNANDEZ  
JEFE DEPTO. INGENIERIA  
COPRAM, S.A. DE C.V.  
RIO VOLGA 13  
COL. CUAUHTEMOC  
06500 MEXICO, D.F.  
TEL. 525 59 63



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**  
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**  
*CURSOS ABIERTOS*

*CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL*

*MODULO 1:*

*NATURALEZA DE LA CONTAMINACION*

*1. - AGUA*

*2. - AIRE*

*3. - SUELO*

*ING. MIGUEL A. CASTILLO H.*

## INTRODUCCION

Los desechos industriales afectan de muchas y muy diferentes formas, la vida normal de las fuentes acuíferas. Cuando estos efectos son lo suficientemente grandes como para considerar que esta fuente es aceptable para ser "usada", se dice que está contaminada.

Entre los diferentes usos del agua están los de escala doméstica (bebida, riego, etc.), los naturales (base para la vida de la flora y la fauna acuáticas), los recreativos (natación, remo, etc.), amén del uso industrial.

Las fuentes acuíferas pueden asimilar una cierta cantidad de desechos antes de llegar al llamado "estado contaminado". Por tanto, para decir que un acuífero (manantial, río, lago, etc.), está contaminado, éste debe tener un exceso de agentes contaminantes, esto es, que los ciclos ecológicos naturales no puedan restablecer el equilibrio.

Los siguientes materiales pueden llegar a ser agentes contaminantes:

- . Sales orgánicas
- . Materia orgánica
- . Agua caliente
- . Colorantes
- . Microorganismos
- . Agentes que alteran la tensión superficial
- . Acidos y/o álcalis
- . Sólidos en suspensión
- . Sólidos y líquidos flotantes
- . Compuestos químicos tóxicos
- . Materiales radioactivos
- . Compuestos orgánicos no biodegradables o recalcitrantes.

Como la cantidad de estas sustancias arrojada al entorno ha ido aumentando conforme la población y la industrialización se han ido incrementando, ha sido necesario que las comunidades aceleren la operación de estos ciclos ecológicos para restablecer el equilibrio.

## CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS QUE SE CONTAMINA?

- . El agua
- . El aire
- . El suelo

y de manera indirecta, los finalmente afectados los seres vivos (el hombre, animales y vegetales) y sus propiedades.

## CONTAMINACION DEL AGUA

Comenzaremos por comentar sobre el agua:

La vida empezó en el agua, alrededor de la cual gira la estructura de la materia viva y la propia vida.

El hombre la ha utilizado para dos fines:

- . Para satisfacer sus necesidades domésticas, agrícolas e industriales.
- . Como medio de transporte y para verter sus "residuos".

Si la cantidad de residuos no es excesiva, estos se descomponen gracias a la acción de los microorganismos y los procesos de la misma agua, pero si se sobrepasa de una determinada cantidad y es vertida a los cuerpos receptores, estos sufren un proceso de degradación.

Los sistemas acuáticos son:

### a) Sistema continental

Aguas superficiales

Aguas subterráneas

### b) Sistema marítimo

## EL AGUA

La molécula del agua está formada por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno.

Su característica principal es su gran polaridad, es incolora, inodora, insabora, de una conductividad de casi cero, etc.

### CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua la define un conjunto de parámetros:

- Físicos      Sólidos totales, en suspensión, temperaturas, color, olor, conductividad, etc.
- Químicos    Materia orgánica, desintegrable ó no, inorgánica y gases disueltos.
- Biológicos   Microorganismos que viven en el agua.

### PROCEDENCIA DEL AGUA CONTAMINADA RESIDUAL:

- Agrícola:    Irrigación y otros usos agrícolas (limpieza ganadera), pesticidas (por su importancia se trata por separado).
- Doméstica:   Viviendas (excremento humano, basura, papel, productos de limpieza, jabón y detergente).
- Pluvial:      Arrastra toda la suciedad que encuentra a su paso.
- Industrial:   Depende del tipo de industria y proceso utilizado (cloruro de sodio, dureza, metales pesados, etc.)

## CONTAMINANTES DEL AGUA

Según las características de las sustancias contaminantes y las fuentes de donde provienen.

**Microorganismos.** Son la parte biológica; algunos producen enfermedades (tifus, cólera, disentería, etc.), otros no (patógenos) bacterias, hongos, algas rotíferos, protozos y virus.

**Orgánica.** Los que tienen uno o más átomos de carbono (no óxido, ni carbónicos) papel, excremento, detergente, residuos vegetales.

**Oxígeno disuelto y el R.O.B. o D.B.O.** A mayor oxígeno disuelto, mejor calidad de agua.

**Los nutrientes.** Son el nitrógeno y el fósforo (fertilizantes y detergentes).

**Minerales inorgánicos.** Salinización (cloruro de sodio) y dureza (carbonato de calcio).

**Contaminantes químicos especiales.** Proviene en su mayoría de la industria, metales pesados (D) 5): Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Arsénico (As), etc.

**Sedimentos.** Erosión del suelo.

**Radioactividad.** De las minas de Uranio, elementos trazadores y fugas de alguna central nucleoelectrónica.

**Calor.** Intercambio en las industrias (disminuye solubilidad del oxígeno).

**Acidez y Basicidad.** pH de procesos químicos en la industria.

**Otros.** Contenido de nitrógeno orgánico, la conductividad, el calor, el olor, etc.

Al final, todas las aportaciones son de tipo industrial y municipal.

Las de tipo industrial son las que vierten las instalaciones industriales. En caso de que el agua residual tenga algún contenido tóxico, se deberá eliminar el tóxico, y después verter al cuerpo receptor.

Algunos de los procesos de eliminación de tóxicos del agua residual, son:

- . Decantación
- . Filtración
- . Floculación, coagulación
- . Adsorción
- . Evaporación
- . Desmineralización
- . Osmosis inversa
- . Otros.

Estos pueden utilizarse solos o combinados.

El residuo sólido de estos procesos pueden en alguno casos reutilizarse o ser dispuestos como residuo sólido.

### AGUA MUNICIPAL

El agua municipal puede ser tratada con los procesos siguientes:

- . Tratamiento primario
- . Tratamiento secundario
- . Tratamiento terciario

**El tratamiento primario.-** elimina la materia en sedimentación o flotante. Consiste de un reja o malla que retiene los gruesos, generalmente se acompaña de un tanque de sedimentación para eliminar los finos sedimentables y la grasa y aceite (a veces tiene un desarenador).

**El tratamiento secundario.-** elimina la sustancia orgánica que permanece aun. Esto se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de múltiples microorganismos. Este proceso puede ser:

- . Lodos activados
- . Bolsas de oxidación
- . Filtradores biológicos
- . Rotores biológicos
- . Desinfección
- . Otros

El tratamiento terciario.- Debido a que el agua efluente del tratamiento secundario aún contiene un 15% aproximadamente, de algunas sustancias (nitrógeno, fósforo, metales pesados y sustancias orgánicas), se utilizan algunos métodos distintos para su eliminación-coagulación y filtración, entre otros procesos.

#### DESCARGA DE AGUA RESIDUAL TRATADA Y DE LODO RESULTANTE.

Como resultado del proceso de tratamiento del agua residual se obtiene un efluente con el grado de depuración previsto y residuos de materia sólida que se depositan en un lugar determinado. El agua depurada se arroja generalmente a algún río, al mar, a pozos de absorción o se usa para regadíos.

En los ríos el agua sigue un proceso de dilución y depuración de la materia orgánica que aún queda en este efluente.

Cuando se vierte agua sin tratar, es decir, con una carga orgánica elevada (muy contaminada), esta materia orgánica consume el oxígeno disuelto en el agua del río causando la muerte de los microorganismos, de la flora y la fauna del lugar de vertido.

En la figura siguiente se muestra lo anterior:

- . En la primera fase el oxígeno disuelto es casi nulo.
- . En la segunda fase, es la zona de recuperación en la que empieza la acción de los microorganismos.
- . En la tercera fase, el agua ha recuperado su estado normal.



Antes de descargar el efluente se debe estudiar la capacidad de dilución y autopurificación del río para así determinar el grado necesario de depuración o a que debe ser sometida el agua negra en la planta de tratamiento.

El agua depurada cuando se arroja al mar, debe hacerse a través de un emisor submarino con la descarga a 10 - 15 m. de profundidad (cuidar que no sea arrastrado a zonas de baño público).

### MANEJO DEL AGUA

En el uso y manejo del agua, cabe señalar que no contaminar puede resultar menos caro que contaminar y luego depurar. Pensando así, se hace esfuerzo para diseñar procesos menos contaminantes.

Los más avanzados permiten reutilizar en su propio proceso productivo los productos arrojados al agua.

También es conveniente seleccionar los procesos que requieren la menor cantidad de agua posible. (El uso de torres de refrigeración o circuitos cerrados de enfriamiento).

Algunos ejemplos de procesos que han disminuido su consumo de agua:

INDUSTRIA	CONSUMO NORMAL	CONSUMO CON NUEVO PROCESO
Textil	200 l/Kg	60 l/Kg
Acero	100 l/Kg	2.8 l/KG
Papel	276 l/Kg	13 l/Kg

## CALIDAD DEL AGUA

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se han agrupado, de acuerdo con su procedencia, en tres sectores:

- . El social, correspondiente a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen el agua residual municipal.
- . El agropecuario, representado por los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, y por el agua de retorno de los campos agrícolas.
- . El industrial, derivado de las descargas originadas por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

## SECTOR SALUD

En relación con el agua residual municipal, su generación es importante en el contexto nacional y está definitivamente unida a la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado con que cuentan las poblaciones.

Dicha cobertura se ha visto favorecida en los grandes asentamientos urbanos, mientras que las zonas rurales y las pequeñas muestran un rezago significativo.

La población de la República Mexicana ha mostrado una fuerte inclinación (60%) a concentrarse en las grandes ciudades. La mayor parte de las actividades industriales del país y que disponen de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado constituyen las fuentes principales de generación de aguas residuales; los ejemplos más claros son las zonas localizadas en torno a las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, las cuales generan 46, 8.5 y 8.2 m<sup>3</sup>/s de agua residual respectivamente, que corresponden a 34% del total generado en el país, calculado en 184 m<sup>3</sup>/s de los cuales 105 corresponden a la población y 79 a la industria.

Las expectativas en cuanto a la generación de agua residual indica que para el año 2000, se producirán 207 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 118.4 corresponderán a la población y 89.4 a la industria.

Evidentemente esta situación representa un enorme compromiso para la población y el gobierno, en su esfuerzo para prevenir y controlar el deterioro es cada vez más valioso el recurso hidráulico del país.

## SECTOR AGROPECUARIO

Respecto al sector agropecuario, las superficies en producción agrícola de riego y temporal acumuladas en los años 1982, 1985 y 1990 totalizan 19.3, 20.6 y 22.9 millones de hectáreas respectivamente, de acuerdo con la información y las experiencias del Plan Nacional Hidráulico.

En cuanto a la demanda de agua y generación de agua residual se observa que 1980 se extrajeron 44,760 millones m<sup>3</sup>, cifra que, de acuerdo con algunas estimaciones se incrementará para los años 1990 y 2000 a 69,542 y 92,380 millones de m<sup>3</sup> respectivamente.

No obstante la diversidad de técnicas de riego utilizadas en el país, se estima consumo de 82% del agua aplicada, lo que nos proporciona un indicador de la generación de agua residual provenientes de esta fuente, la cual se estima en las siguientes cifras anuales:

1980:	8,056.8 millones de metros cubicos
1990:	8,345.0 millones de metros cubicos
2000:	11,085.0 millones de metros cubicos

Evidentemente el agua de retorno agrícola constituyen una fuente de contaminación muy importante, cuyo impacto se ha manifestado ampliamente en el país, sobre todo en el elevado porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutroficación.

En México disponemos de información suficiente respecto a las demandas de agua e índices de generación debido a los escasos trabajos realizados en el campo de la actividad pecuaria; sin embargo, en la zona de la Piedad, Mich., se ha observado que se utilizan de 10 a 15 litros de agua por kilogramo de estiércol producido y que en promedio se generan 2 kilos de excremento por cabeza cada día, considerando un peso promedio de los cerdos en la granja de 70 kilos. La mezcla final de residuos líquidos tiene las características siguientes:

pH	8
DBO	2,492
DQO	5,200
SOLIDOS TOTALES	5,582
SOLIDOS SEDIMENTABLES	15
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	4,740

Sin embargo, dado que la actividad de crianza porcina del país representa actualmente un aspecto crítico en cuanto a deterioro ambiental y sanitario en las regiones donde se practica (debido a la agresividad de los desechos que produce, el escaso o nulo tratamiento que reciben y a la inadecuada desposición final que se hace de los mismos), se han realizado grandes esfuerzos en todo el país para resolver este problema.

La producción de ganado porcino se desarrolla, preponderantemente, en los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Sonora y Veracruz, observándose un crecimiento constante.

En los últimos años, la porcicultura se ha visto afectada fundamentalmente por una creciente disminución en la demanda, por lo que en estos momentos opera por debajo de su capacidad instalada.

En forma específica, el corredor comprendido entre las poblaciones de Abasolo, Guanajuato y la Piedad Mich., se han caracterizado por ser el lugar de mayor relevancia, en el nivel nacional, desde el punto de vista de la generación de contaminantes por la actividad porcícola del país.

## SECTOR INDUSTRIAL

Después de la década de los treinta puede decirse que se inicia el crecimiento rápido del México moderno; desciende la mortalidad infantil, aumentan las expectativas de vida del adulto, baja la producción agrícola que caracterizó al México premoderno y se inicia una corriente de migración del campo a las ciudades.

Posteriormente, en la década de los cuarenta empieza el proceso de industrialización del país, proceso que crecería a un ritmo anual de 8% hasta el final de la década de los setentas en que entra, junto con muchos países, en el proceso de recesión de la economía mundial. Durante esas cuatro décadas de crecimiento, la planta industrial gestada, se concentro principalmente en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara.

Este crecimiento se vio relegado a segundo término por las consideraciones sobre costo y dificultades de abastecimiento de agua, habiéndose observado una serie de efectos derivados de tal situación, entre los que sobresalen la competencia por el uso de fuentes de abastecimiento con el sector urbano y el consiguiente encarecimiento de los servicios.

Por otra parte, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes y la poca importancia dada a su manejo y disposición, han convertido a este sector en un elemento fundamental que debe ser considerado en el control para la preservación del recurso hidráulico cuya disponibilidad se ve comprometida en amplias zonas del país.

En México, el sector industrial se encuentra clasificado en 39 grupos, habiéndose identificado, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación, los señalados en el cuadro 1 como los más importantes dentro de este contexto tales giros corresponden en conjunto prácticamente a 82% del total del agua residual generada por el sector, destacando las industrias azucarera y química con 59.8 por ciento.

Principales giros industriales reponsables de las mayores descargas de agua residual en México.

INDUSTRIA	EXTRACCION	CONSUMO	DESCARGA
AZUCARERA	35.2	22.3	38.8
QUIMICA	21.7	24.4	21.0
PAPEL Y CELULOSA	8.2	16.1	6.0
PETROLEO	7.2	3.7	8.2
BEBIDAS	3.3	6.4	2.4
TEXTIL	2.6	2.4	2.7
SIDERURGICA	2.5	5.5	1.7
ELECTRICA	1.5	4.7	0.7
ALIMENTOS	0.2	0.3	0.2
RESTO DEL SECTOR	0.17	14.1	18.1

Sin embargo, considerando no solamente los volúmenes de agua manejados, sino las circunstancias locales en las cuales se desenvuelve la industria, se han establecido como las más importantes en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del agua en México, las siguientes:

- Azucar y Alcohol
- Refinación de Petróleo y Petroquímica
- Papel y Celulosa
- Curtiduría
- Química
- Textil
- Alimentaria

## SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES

En México, para el tratamiento de agua residual municipal e industrial, se cuenta actualmente con 361 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 25.10 m<sup>3</sup>/s, y en lo que se refiere a plantas de tratamiento de agua residual industrial, existen 282 con una capacidad aproximadamente de 20 m<sup>3</sup>/s.

De lo anterior se deriva que de la descarga total de agua residual municipales que es de 101 m<sup>3</sup>/s solo se tiene capacidad para tratar 24%, además de que aproximadamente la mitad del volumen tratado es para reuso y no para el control de la contaminación. Por lo que respecta al agua residual industrial cuyo gasto es de 79 m<sup>3</sup>/s solo se trata el 25.3 %.

Ahora bien, si todos los sistemas de tratamiento estuvieran operando, que no es el caso (se estima que sólo 50% opera regularmente), se alcanzaría a eliminar una carga orgánica de aproximadamente 233 680 ton. anuales, que representan 10.5% de la carga orgánica total generada en el país, que es de 2 219 643 ton. anuales.

Aunado a lo anterior, en lo que se refiere a los sistemas de alcantarillado, la población del país cuenta con un nivel de servicio de 49%, siendo las localidades rurales las más afectadas por la falta de este servicio, por lo cual han recurrido al uso de fosas sépticas, aunque en mínimo porcentaje.

Asimismo, se ha determinado que, debido principalmente a la falta de autosuficiencia económica y financiera, no ha sido posible ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado como sería deseable y no menos aún la implantación de sistemas de tratamiento. Otros problemas no menos graves son la falta de personal capacitado para la operación y mantenimiento de las instalaciones de alcantarillado y tratamiento de agua.

En las plantas municipales existentes predominan los procesos a base de lagunas de estabilización y de lodos activados, y en los sistemas industriales de tratamiento, la mayoría se efectúa por medio de procesos de lodos activados con coagulación química.

ZONAS HIDROLOGICAS EN LAS QUE SE LLEVAN A CABO  
ACCIONES DE SANEAMIENTO

Zona Lerma Chapala. Para lograr el saneamiento integral, de esta cuenca, en la que se genera 15% de la carga orgánica contaminante y 16% del volumen total de agua residual producida en el País, es decir 18 m<sup>3</sup>/s, de agua residual que aportan 320 000 ton./año de materia orgánica, al 13 de abril de 1989 se firmó un acuerdo de coordinación entre el Ejecutivo Federal y los Gobiernos de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco, para el saneamiento y control de residuos para esta importante zona hidrológica.

Las empresas que han tomado acciones directas para este programa son:

Comisión Federal de Electricidad.

Fertilizantes Mexicanos.

Petróleos Mexicanos.

Otras zonas son:

ZONA DEL RIO BALSAS

ZONA DEL RIO SAN JUAN

ZONA DEL RIO BLANCO

ZONA DEL RIO PANUCO

ZONA DEL LAGO DE PATZCUARO

ZONA FRONTERIZA.



## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

México es un país que se caracteriza por una gran variedad de condiciones climáticas y por la enorme diversidad de recursos naturales.

Aún cuando en nuestro país los problemas de contaminación ambiental son de todo tipo, se concede atención relevante a la contaminación del agua. Esto se debe a que aunque la contaminación atmosférica y la producida por desechos sólidos presentan graves consecuencias en las grandes ciudades y centros fabriles, los problemas y sus efectos se restringen a dichas áreas. La contaminación del agua, en cambio, tiene alcances globales y la respuesta del Gobierno Federal a los problemas ocasionados por la contaminación del agua, se inició en 1969, cuando se decidió que se estudiara la situación concreta de contaminación del Río Lerma.

Para ello se crearon organismos Federales a partir de 1971, se promulgaron leyes hasta culminar, en marzo de 1989, con la ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.

Es a principios de la década de los setentas cuando se advierte la competencia que establece en los usos del agua, así como la creciente generación de desechos de todo tipo como resultado de las actividades productivas, los cuales, al incorporarse a los cuerpos de agua, modifican las características de estos y limitan su potencial de aprovechamiento y uso. Se inician entonces de manera formal estudios de calidad del agua en las principales cuencas hidrológicas del país con objeto de conocer el grado de deterioro que habían alcanzado.

Como resultado de los estudios en cuencas específicas, se estableció la necesidad de registrar continua y sistemáticamente la calidad del agua en los principales cuerpos de agua del país, implantándose la red de Monitoreo de la Calidad del Agua, mediante la cual se inició el muestreo y análisis periódico de las características, físicas, químicas y bacteriológicas en sitios ubicados estratégicamente en el sistema hidrogeográfico del país, y que incluía agua superficial, subterránea y zonas costeras.

De acuerdo con el PNPMA 1990-1994 se ha incrementado el número de estaciones de la red de monitoreo de la calidad del agua, se continúan equipando los laboratorios de análisis, y constantemente se actualiza el inventario de fuentes contaminantes.

El programa de monitoreo de la calidad del agua se diseñó con el fin de obtener los datos suficientes que proporcionen información de utilidad en la planeación racional de los usos del agua y en la protección de los ecosistemas acuáticos.

El programa de monitoreo está diseñado para satisfacer los siguientes objetivos:

- . Determinar la calidad del agua existente en los principales cuerpos acuáticos del país y, de acuerdo con sus usos, su aptitud.
- . Obtener un marco de referencia mediante el cual puedan identificarse cambios en el futuro.
- . Evaluar el manejo de agua residual y la eficacia de acciones de prevención y control de la contaminación del agua.
- . Identificar sitios que requieran estudios especiales y/o aumentar el control sobre descargas de agua residual.
- . Establecer prioridades para estudios y controles.

Para ubicar las estaciones de monitoreo se tomaron en consideración las siguientes características de los sitios para coleccionar las muestras:

- . Proximidad de sitios de aprovechamiento del agua para el abastecimiento urbano, industrial y agrícola; zonas de pesca, de recreación y de conservación de la vida acuática silvestre.
- . Representatividad del cuerpo de agua receptor, por consiguiente se ubicaron estaciones en: puntos de referencia en donde se supone no existe influencia de contaminantes; donde se registren los efectos de las descargas de desechos; la zona de recuperación, y cerca de la desembocadura final (en el caso de ríos).
- . Fácil localización y acceso, preferentemente en puentes.
- . Cercanos a estaciones hidrométricas.

Los parámetros de calidad fueron seleccionados de forma que abarquen un panorama general, con base en normas aplicables a toda el agua del país y que observen los siguientes criterios:

- . Usos del cuerpo de agua.
- . Características de las fuentes contaminantes.
- . Grado de afectación en el cuerpo receptor.
- . Disponibilidad de equipo especializado.

"MANEJO Y CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES  
ATMOFERICOS INDUSTRIALES".

COMBUSTION EN GENERADORES DE VAPOR  
(CALDERAS)

ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL  
COMITE NACIONAL PERMANENTE DE PERITOS Y  
CONSULTORES EN ALTO RIESGO AMBIENTAL

TEMAS :

- I.- COMBUSTIBLES
- II.- TEORIA DE LA COMBUSTION
- III.- EXCESO DE AIRE
- IV.- REDUCCION DE EMISIONES DE CO Y NOX
- V.- NORMAS Y LIMITES DE EMISION

## COMBUSTIBLES

Se denomina combustible a las sustancias formadas principalmente por carbono e hidrógeno, capaces de presentar el fenómeno de combustión, esto es, de combinarse con el oxígeno mediante reacciones químicas fuertemente exotérmicas, que ocurren a velocidades altas y con liberación de grandes cantidades de energía térmica.

Los combustibles normalmente usados en las calderas industriales son el gas natural y gases y líquidos derivados del petróleo, ya que los combustibles sólidos como el carbón, requieren de un equipo de preparación y combustión que resulta normalmente de costo excesivo para calderas pequeñas.

Desde el punto de vista del proceso de elaboración, los combustibles derivados del petróleo se clasifican en destilados y residuales.

Los destilados son obtenidos, como su nombre lo indica, por destilación de los crudos y se producen de distintos tipos y características. Los residuales, en cambio, están constituidos por los fondos de los procesos de destilación. En México, los combustibles más usados en calderas industriales son:

gas natural	}	(Destilados)
gas L.P.		
diesel		
combustóleo	}	(Residual)

Los combustibles líquidos y gaseosos poseen una serie de propiedades que es importante conocer para su almacenamiento, transporte y uso. Para los combustibles gaseosos son de gran interés los límites de inflamabilidad y la velocidad de propagación de la flama.

Las propiedades consideradas como las mas importantes:

- Composición Química
- Poder Calorífico
- Viscosidad
- Temperatura de inflamación
- Peso Específico
- Impureza Química
  - Contenido de Azufre
  - Contenido de Cenizas
- Límites de Inflamabilidad
- Velocidad de propagación de la flama.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS:

COMPOSICION QUIMICA

La composición química se expresa usualmente de dos maneras: o bien como el contenido de las diferentes sustancias que forman el combustible p. ej., la composición química del gas natural es Metano 92.3%, Etano 6.3% y Propano 1.4%, o como la composición elemental, es decir, como el porcentaje de los diferentes elementos que forman el combustible.

Un ejemplo de Composición elemental de un gas natural es:

Elemento	%
Carbono (C)	75,4
Hidrógeno (H)	24,6
	-----
T O T A L	100,0

Un ejemplo del análisis elemental de un combustóleo es el siguiente:

Elemento	%
Carbono (C)	84,90
Hidrógeno (H)	10,81
Azufre (S)	3,35
Nitrógeno (N)	0,40
Oxígeno (O)	0,02
Humedad (H <sub>2</sub> O)	0,47
Cenizas	0,05
	-----
T O T A L	100,00



## PODER CALORIFICO

El poder calorífico es el calor liberado por la combustión de la unidad de masa del combustible.

Su medición se realiza con una bomba calorimétrica, en la cual se quema una muestra de combustible en un ambiente de oxígeno midiéndose el calor desprendido o poder calorífico del combustible.

El poder calorífico así determinado es llamado "poder calorífico superior", ya que tiene en cuenta todo el calor desprendido, incluyendo el calor de condensación del agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible. Cuando se descuenta el calor de vaporización del agua, recibe el nombre de poder calorífico inferior.

La relación entre ambos valores es:

$$PCI \text{ (kcal/kg)} = PCS - 597 (9H + \% H_2O)$$

En donde :

H es el % de Hidrógeno del combustible

H<sub>2</sub>O es el Contenido de humedad

597 es el Calor latente de vaporización del agua en kcal/Kg

En ausencia del dato experimental, el poder calorífico superior puede calcularse a partir de la composición química del combustible mediante la expresión:

$$PCS = 7837^{\circ}C + 33,874 (H - O/8) + 2,212 S \text{ (kcal/kg)}$$

En donde :

C es el Contenido de Carbono

H es el Contenido de Hidrógeno

O es el Contenido de Oxígeno

S es el Contenido de Azufre

## VISCOSIDAD

Es una de las propiedades físicas más importantes para el manejo de combustibles, así como para su combustión eficiente. La viscosidad de un fluido es la medida de la resistencia del fluido al movimiento.

La viscosidad de un combustible varía ampliamente con la temperatura, lo cual debe tomarse en cuenta al determinar la temperatura apropiada para bombearlo ó atomizarlo.

La viscosidad se define mediante la ley de Newton:

$$F = u \frac{dv}{dx}$$

que expresa que el esfuerzo (fuerza por unidad de área) necesario para deslizar la cara superior de una porción de fluido de espesor "x" con una velocidad "v" respecto de la cara inferior.

Si  $F = \text{dina (1g/cm/seg}^2)$  y  $(dv/dx) = ((1\text{cm/seg}) (1/\text{cm}))$ , entonces  $u = 1 \text{ poise}$

Es usual utilizar las centésima parte del Poise o centipoise (cP). Ambas se expresan en g/cm seg.

Si la viscosidad absoluta se divide por la densidad, se obtiene la viscosidad cinemática, cuya unidad es el Stoke, y su centésima parte, el centistoke (cS).

Viscosidad cinemática =  $\frac{\text{Viscosidad absoluta}}{\text{densidad}}$

$$V = \frac{u}{P} \quad (=) \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

Es también muy usual determinar la viscosidad mediante procedimientos experimentales, que miden el tiempo (en segundos) que tarda una cierta cantidad de combustible en fluir através de cierto aparato (Saybolt Universal, Saybolt Furol, Redwood I y Redwood II) o bien, el tiempo de fluencia del combustible en relación con el agua, también en un equipo de características dadas (grados Engler).

## TEMPERATURA DE INFLAMACION

Es la temperatura a la cual el combustible desprende suficiente cantidad de vapores que al mezclarse con el aire forman una mezcla inflamable.

Esta propiedad marca el límite seguro para el calentamiento del combustible en recipientes abiertos.

## PESO ESPECIFICO

Si bien es de menor importancia que las anteriores, el peso específico es otra característica de los combustibles. Se suele expresar en g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup> o bien, en forma empírica mediante los grados API (American Petroleum Institute), que se relacionan con el peso específico a la misma temperatura mediante la expresión:

$$\text{grados API (a } 15.6^{\circ}\text{C)} = \frac{141.5}{\text{P.E. (a } 15.6^{\circ}\text{C)}} - 131.5$$

Los grados API se miden con un hidrómetro especialmente calibrado.

## IMPUREZAS QUIMICAS:

### CONTENIDO DE AZUFRE

El azufre es un elemento cuya presencia en un combustible es perjudicial, ya que si bien al quemarse aporta cierta cantidad de calor, forma óxidos de azufre que, además de contarse entre los contaminantes atmosféricos más perjudiciales, pueden fácilmente transformarse en ácido sulfúrico y corroer las partes frías de la caldera.

## CONTENIDO DE CENIZAS

Todos los combustibles residuales contienen sustancias inorgánicas que, al quemarse, formarán cenizas. Las cenizas cualquiera que sea su composición, ensucian los haces de tubos de la caldera, disminuyendo los coeficientes de transferencia de calor.

Entre los componentes de las cenizas son particularmente nocivos el vanadio y el sodio, ya que sus óxidos y compuestos corroen las superficies de los tubos, especialmente sobrecalentadores y recalentadores.

## LIMITES DE INFLAMABILIDAD

Para que un gas pueda quemarse se requiere que su concentración se encuentre dentro de los límites de inflamabilidad. Dichos límites, para combustibles gaseosos en aire y a temperatura ambiente son:

Combustible	Límite inferior %	Límite superior %
Hidrógeno	4.1	74
Metano	5	15
Etano	3.1	12.5
Propano	2.4	9.5
Butano	3	29

En las mezclas combustible-aire, la flama se propaga a diferentes velocidades en función tanto del tipo de combustible, como de las cantidades de combustible y aire en la mezcla. Como esta propiedad es particularmente útil en el cálculo de quemadores de gas de premezcla, se le suele representar en función del porcentaje de aire requerido estequiométricamente, es decir, del grado de premezcla.

## TIPOS DE COMBUSTIBLES

En México los combustibles normalmente usados para calderas industriales son:

- gas natural
- gas L.P.
- diesel
- combustóleo
- gasoleo

## GAS NATURAL

El gas natural es muy apreciado como combustible por su facilidad de manejo, por la posibilidad de alcanzar fácilmente altas eficiencias de combustión porque no posee cenizas ni azufre.

Su principal inconveniente es su escasa disponibilidad, por lo que su uso se restringe a aquellas zonas del país en las que se tiene acceso a él.

El gas natural se extrae conjuntamente con el petróleo de los pozos de yacimientos petrolíferos, de dónde se le envía a los centros de consumo mediante gasoductos.

Está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), con algo de etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros constituyentes menores, cuyas proporciones varían en función del yacimiento.

El gas natural que PEMEX extrae y vende, posee la siguiente composición:

	% en Volumen
Metano ( $\text{CH}_4$ )	92.3 %
Etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	6.3 %
Propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )	1.4 %
Peso específico relativo al aire:	0.602
Acido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	17 ppm
Poder calorífico inferior:	8,540 kcal/m <sup>3</sup>
	a 15.6°C y 760 mmHg

## GAS LICUADO DE PETROLEO

Si bien es fundamentalmente un combustible de uso doméstico, en algunos casos se utiliza en calderas industriales. Está compuesto por propano y butano, en cantidades variables en función del clima del sitio en el que se le utiliza.

Su poder calorífico inferior es de 11,000 kcal/kg, su peso específico a 15.6°C es entre 0.537 y 0.575 y su contenido de azufre entre 10 y 90 ppm.

## DIESEL

El diesel es un combustible líquido destilado, bastante usado en calderas industriales.

PEMEX expende 3 tipos de diesel: diesel no. 1, diesel no. 2 y diesel especial. Las propiedades de los 3 son similares, difiriendo solo en el contenido del azufre.

## COMBUSTOLEO

El combustóleo es un aceite pesado proveniente de los residuos obtenidos de la refinación del petróleo crudo, a los que se les reduce su viscosidad para hacerlos más manejables.

En la tabla siguiente se muestra la composición del combustóleo mexicano, junto con la clasificación y especificación ASME para los aceites combustibles.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS  
COMBUSTIBLES DIESEL (ASTM D-975)

PROPIEDADES	ESPECIFICACION ASTM	UNIDADES	DIESEL GRADO 1-D	DIESEL GRADO 2-D	DIESEL GRADO 4-D
1.- Temperatura de Inflamación	D-93 ó D-56	°C (min)	38	52	55
2.- Temperatura de Escurrimiento	D-2500 o' D-3117	°C (máx)	6 min. T.A.	6 min. T.A.	6 min.T.A.
3.- Agua y Sedimento	D-1796	(% vol)máx.	0.05	0.05	0.05
4.- Resíduo de Carbón	D-524 ó D-189	(10% resí- duo) máx.	0.15	0.35	--
5.- Cenizas	D-482	(% peso)máx	0.01	0.01	0.10
6.- Destilación	D-86	°C a (90%) máx	288	338-282	--
7.- Viscosidad	D-445	SSU (a 37.8 °C)	34.4	32.6-40.1	45-125
8.- Azufre	D-129	(% peso)máx	0.50	0.50	2.0
9.- Corrosión	D-130	(con cobre) máx.	No. 3	No. 3	--
10.- Número de Cetano	D-513 ó D-976	min.	40	40	30
11.- Poder Calorífico Superior		Kcal/kg	10,060	10,280	10,250

Análisis que se deben realizar al combustible diesel de acuerdo a las especificaciones ASTM (D-975)



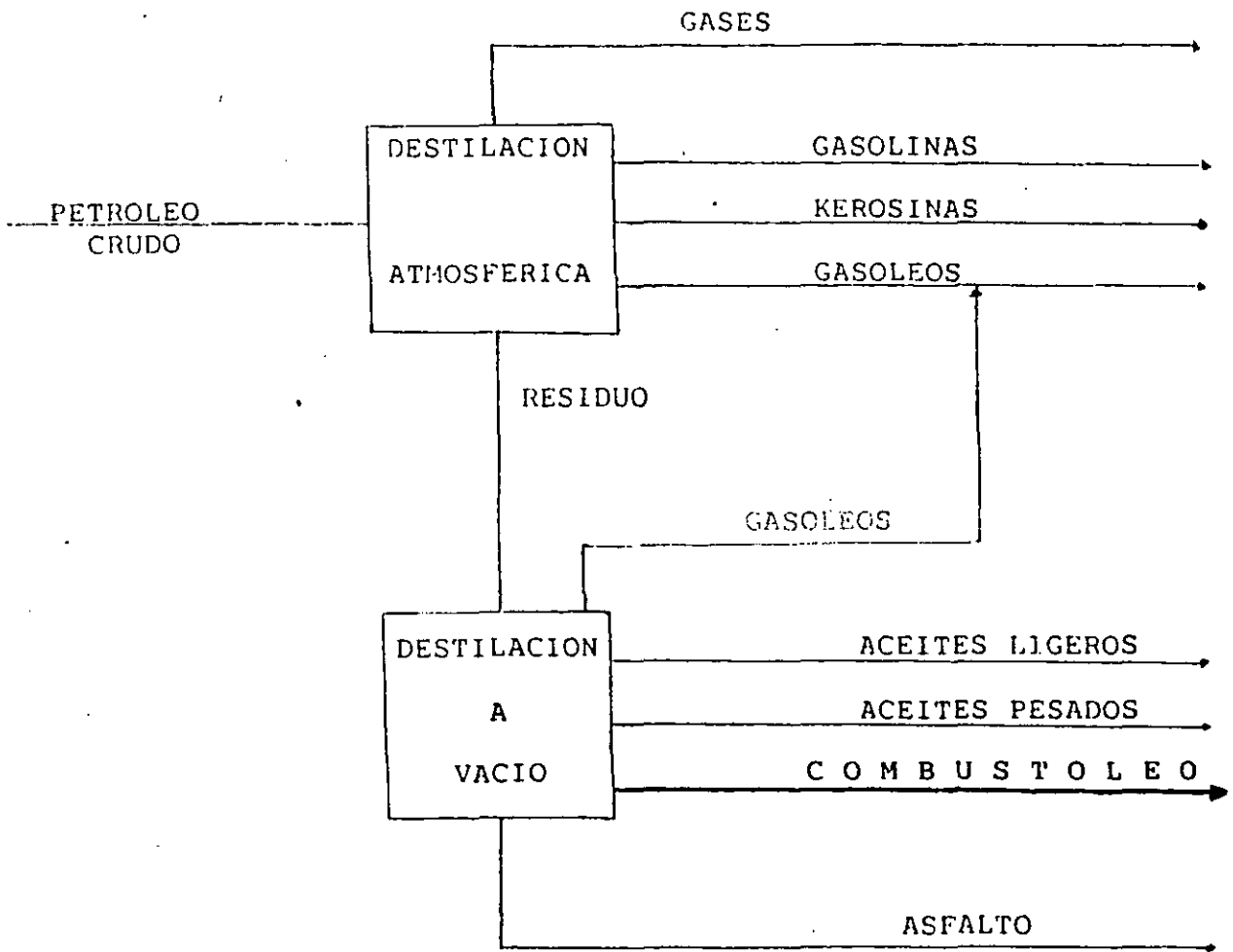
PROPIEDAD	UNIDADES	METODO ASTM	VALOR MEDIDO	LIMITE ACEPTADO	OBSERVACIONES
1.-Viscosidad Cinemática; 100°F (37.8°C)	Cst	D 445		1.8 - 5.8	Requerimiento para bombeo normal.
2.-Viscosidad Cinemática 210°F (98.9°C)	Cst	D 445			
3.-Densidad relativa; 60°F (15.6°C)		D 1298			
4.-Densidad 20/4°C					Base para corregir consumos
5.-Punto de escurrimiento (pour Point) °F (°C)	°C	D 97		D(-18) ó 20 (7) abajo mín. ambiente.	Indica temp. combustible deja de fluir.
6.-Punto de inflamación (flash point)	°C	D 93		mín. 65°C	Temperatura a la que se pueden encender los vapores de combustible.
7.-Poder Calorífico Superior	Cal/Kg				
8.-Poder Calorífico Superior	Btu/lb	D 240			
9.-Poder Calorífico Inferior	Cal/kg	D 1405-- D 240			
10.-Poder Calorífico Inferior	Btu/lb				
11.-Residuo de Carbón (Carbón residue, 10% Bottoms)	%en peso	D 524		máx. 0.25	Forma carbón en inyectores de combustible. Provoca corrosión.
12.-Azufre	%en peso	D 1266		máx. 1.0	Influye sobre color humo en chimenes.
13.-Hidrógeno	%en peso				Influye sobre contaminación ambiental.
14.-Nitrógeno	%en peso				
15.-Cenizas totales (1)	ppm	D 482		máx. 50	
16.-Metales en cenizas	ppm				

ANALISIS DE COMBUSTIBLE DIESEL No. 2 PARA UTILIZARSE EN TURBINAS DE GAS

PROPIEDAD	UNIDA- DES	METODO ASTM	VALOR MEDIDO	LIMITE ACEPTADO	OBSERVACIONES
Sodio				máx. 0.5	Provoca corrosión
Potasio				máx. 0.5	Provoca corrosión
Vanadio				máx. 0.5	Provoca corrosión
Calcio				máx. 2.0	Depósitos difíciles de remover.
Plomo				máx. 1.0	Provoca corrosión
17.- Agua y Sedimentos	Vol. %	D 1796		máx. 0.1	Provoca ensuciamiento del sistema de combustible.
18.- Agua Vol.	%	D 95		máx. 0.1	
19.- Suciedad filtrable	mg/100	D 2276		máx. 4.0	Indica la materia en sus- pensión.
20.- Número de cetano		D 976		mín. 40	Para arranque del motor diesel.
21.- Temperatura igni- ción	°C	D 56		86-105°C	Mide la inflamabilidad del combustible.

Notas: - (1) Un valor de cenizas totales inferior a 3 ppm es aceptable cuando no se puede hacer el análisis de los metales.

OBTENCION-DEL-COMBUSTOLEO



VALORES ESTADISTICOS DE LAS PROPIEDADES  
 BASICAS DE LOS COMBUSTIBLES MEXICANOS

	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
AGUA X DESTILACION X PESO	0.67 ± 0.74	0.1	4.2
AGUA Y SEDIMENTOS X PESO	0.55 ± 1.3	0.1	4.4
DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	0.983 ± 0.007	0.958	0.999
T INFLAMACION °C	95 ± 12	66	146
TENSION SUPERFICIAL dinas/cm	29.7 ± 0.4	28.4	30.4
VISCOSIDAD SSE(50°C)	450 ± 135	57	1520
PODER CALORIFICO Kcal/Kg	1013 ± 190	9660	11200
CARBONO X peso	84.7 ± 1.1	81.0	87.7
HIDROGENO X peso	10.9 ± 0.7	9.2	12.7
NITROGENO X peso	0.41 ± 0.10	0.14	0.58
AZUFRE X peso	3.4 ± 0.4	2.3	4.4
CENIZAS X peso	0.05 ± 0.01	0.02	0.11
VANADIO ppm	184.0 ± 38.9	81.5	327.8
NIQUEL ppm	13.2 ± 7.6	1.2	43.0
SODIO ppm	30.6 ± 10.2	4.8	57.0
ASFALTENOS X peso	13.2 ± 2.2	3.8	18.0
CARBON-CON X peso	14.1 ± 1.7	6.6	17.7
SATURADOS X peso	30.7 ± 3.2	23.0	34.5
RESINAS X peso	26.4 ± 4.0	18.0	28.0
AROMATICOS X peso	28.3 ± 3.1	20.0	34.7

CONSTITUYENTES INORGANICOS EN COMBUSTIBLES RESIDUALES.

Constituyentes	Partes por millón en el Combustible	Porcentaje en las Cenizas *
$\text{SiO}_2$	6-86	0.6-8.6
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3-76	0.3-7.6
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.9-57	0.1-5.7
$\text{CaO}$	1.4-10	0.1-1.0
$\text{MgO}$	1-1.7	0.1-0.2
$\text{Na}_2\text{O}$	5-35	0.5-3.5
$\text{K}_2\text{O}$	0.2-1.2	0-0.1
$\text{SO}_3$	---	---
$\text{V}_2\text{O}_5$	14-500	1.4-50
$\text{NiO}$	1.3-25	0.1-2.5
$\text{NaO}$	---	---
$\text{Cl}$	---	---
$\text{S}$	0.5-5.0	---

\* Calculado en base a 0.1% de cenizas en el combustible.

## CONSTITUYENTES DE LAS CENIZAS EN LOS CRUDOS.

ELEMENTO	SOLUBILIDAD EN EL PETROLEO	PROBABLE COMPOSICION QUIMICA.
Aluminio	Insoluble	Complejos de Silicatos de Aluminio en suspensión.
Calcio	Insoluble	Sales de calcio en suspensión ó disueltas en el agua emulsificada.
Hierro	Soluble	Complejos de porfirina
Magnesio	Insoluble	Sales de magnesio disueltas en el agua emulsificada o en suspensión en estado microcristalino.
Níquel	Soluble	Complejos de porfirina
Silicio	Insoluble	Silicatos complejos y arena en suspensión.
Sodio	Insoluble	En su mayor parte como cloruro de sodio en el agua emulsificada ó en suspensión en estado microcristalino.
Vanadio	Soluble	Complejos de porfirina

Las cenizas de los combustóleos no se han estudiado de forma tan extensa como las del carbón, debido a que su presencia en los combustóleos es cien veces menor. Aún así, las cenizas de los combustóleos se acumulan sobre las superficies calefactoras y ocasionan problemas de incrustación y sobrecalentamiento.

QUIMICA DE LA COMBUSTION

REACCIONES

La combustión es un fenómeno químico resultante de la combinación de un combustible con el oxígeno, en donde se desarrolla calor.

La velocidad de combustión depende de la afinidad del elemento combustible con el oxígeno y de las condiciones en las que tiene lugar la combustión.

Una combustión es completa cuando todos los elementos que componen el combustible se han unido con todo el oxígeno que es capaz de entrar en combinación.

Moléculas y Átomos.- Para una mejor comprensión de las reacciones de combustión, es preciso incluir unas explicaciones breves de la constitución de la materia.

Todo cuerpo químico está constituido de unidades físicas de materia que constituyen el límite de división del compuesto. Estas unidades se denominan moléculas y participan de todas las propiedades y naturaleza del cuerpo.

Las moléculas están compuestas de uno o más elementos combinados denomina dos átomos, que es la mínima porción de cada cuerpo que puede separarse por medios químicos.

Por tanto, cada cuerpo está constituido por moléculas y cada molécula por uno o varios átomos.

Cuerpos Simples y Compuestos.

Los cuerpos se dividen en simples y compuestos.

Cuerpos simples son aquellos que por medios químicos no pueden transformarse en otros más sencillos y se denominan elementos. Estos elementos son relativamente pocos (103 conocidos), y se designan por símbolos.

Los cuerpos compuestos resultan de la combinación de 2 ó más elementos y la cantidad de ellos es innumerable. Los compuestos se designan por fórmulas en las que aparecen los símbolos de los elementos que los componen.

Cada elemento se distingue del otro por sus propiedades específicas como son, el peso atómico, el estado físico, el peso molecular y sus temperaturas de fusión, ebullición, etc.

Los cuerpos compuestos tienen también propiedades específicas que los identifican individualmente.

Reacción Química.- Una reacción química entre los elementos ó compuestos es un rearrreglo de los átomos de los elementos en una nueva combinación de moléculas. Estas reacciones siempre ocurren de acuerdo con relaciones de peso fijas e invariables que son características de los elementos que entran en la reacción. También se originan cambios de volumen definidos, basados en el número de moléculas gaseosas reaccionantes y producidas.

Para la producción práctica de calor en la combustión, es esencial que los elementos del combustible tengan gran afinidad con el oxígeno. El Carbono y el Hidrógeno que son los elementos más importantes que se encuentran en los combustibles comunes, alcanzan este requisito. Esto ocurre ya sea en estado libre o combinado en todos los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

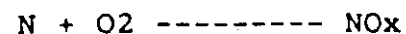
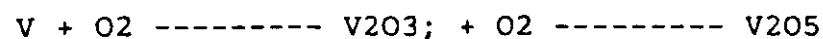
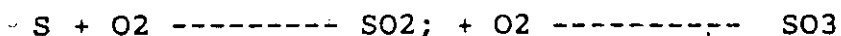
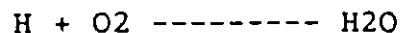
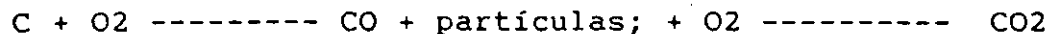
#### COMBUSTION ESTEQUIOMETRICA

Cuando se realiza la combustión y sólo se obtienen productos sin quedar combustible y oxígeno libre, se tiene una combustión estequiométrica.



## REACCIONES QUIMICAS DE LA COMBUSTION

Las reacciones químicas de combustión pueden resumirse del siguiente modo, sin considerar la estequiometría:



La concentración de cada uno de los productos finales (y aún de los intermedios en los gases de combustión será función del tipo de combustibles utilizado, de la geometría, tipo y tamaño del quemador, de la calidad de la atomización, etc.

CARACTERISTICAS DE ELEMENTOS, COMBUSTIBLES GASEOSOS  
Y PRODUCTOS DE REACCION

SUSTANCIAS	SIMBOLO Y FORMULA MOLECULAR	PESO ATOMICO		PESO MOLECULAR		ESTADO FISICO
		EXACTO	APROXIM.	EXACTO	APROXIM.	
Carbono	C	12.000	12			Sólido
Hidrógeno	H	1.008	1	2.016	2	Gas
Oxígeno	O	16.000	16	32.000	32	Gas
Azufre	S	32.06	32			Sólido
Nitrógeno	N	14.008	14	28.016	28	Gas
Monóxido de Carbono	CO			28.00	28	Gas
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>			44.00	44	Gas
Metano	CH <sub>4</sub>			16.032	16	Gas
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>			26.016	26	Gas
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			28.032	28	Gas
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>			30.048	30	Gas
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>			64.06	64	Gas
Acido Sulfú- rico	H <sub>2</sub> S			34.076	34	Gas
Agua	H <sub>2</sub> O			18.016	18	Líquido
Aire				28.85	29	Gas

## CALCULOS DE COMBUSTION

Los cálculos de combustión constituyen uno de los primeros pasos que se requieren para dimensionar un generador de vapor, luego de haber definido su capacidad y el combustible que se utilizará.

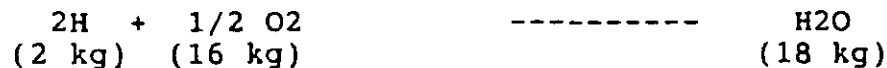
Tanto para la selección de los quemadores (tamaño y número) como para el diseño del sistema de almacenamiento y manejo de combustible, es necesario conocer la cantidad de combustible a quemar durante la operación de la caldera.

La cantidad de aire requerido por el proceso de combustión es la base para el diseño y selección de ventiladores, ductos, precalentadores, quemadores y operación eficiente.

Para el dimensionamiento y arreglo apropiado de las superficies de absorción de calor (paredes de agua, sobrecalentadores, recalentadores, economizadores, precalentadores de aire, etc.) es necesario conocer la cantidad de gases de combustión que se producirán, así como su composición química.

Los fundamentos del cálculo son similares para cualquier combustible. A manera de ejemplo se presenta el caso de un generador de vapor que deba utilizar combustóleo.

La cantidad de aire teórica (o estequiométrica), expresada en kg/kg combustible, se calcula a partir de las reacciones químicas de combustión:



El cálculo puede resumirse en un cuadro como el siguiente:

Elemento	Productos de la combustión (kg/kg combustible)			Requerimiento oxígeno (kg/kg combustible)		
	Cálculo	CO2	H2O	SO2	Cálculo	O2
Carbono	0.8490 x 44/12	3.113			0.8490x32/12	2.264
Hidrógeno	0.01081x18/2		0.973		0.1081x16/2	0.868
Azufre	0.035x64/32			0.067	0.335x32/32	0/035
Oxígeno					0.0002x1	-0-000
Humedad	0.004x1		0.004			
	T O T A L	3.113	0.977	0.067		3.167

Esto es, se necesitarán 3.167 kg de oxígeno por cada kg de combustible.

Como en lugar de oxígeno puro se utiliza aire, que contiene 23.2% de oxígeno en peso.

$$\frac{3.167}{0.232} = 13.65 \text{ kg de aire/Kg de Combustible}$$

Entonces, la composición en peso de los gases de combustión será (asumiendo combustión estequiométrica):

CO2	3.113	
H2O	0.977	
SO2	0.067	
N2 (del combustible)	0.004	
N2 (del aire)	<u>10.483</u>	
T O T A L	14.644	kg de gases/kg de combustible.

## EXCESO DE AIRE

Considerando 5% de exceso de aire (cantidad muy razonable para combustóleo), el requerimiento real de aire será:

$$13.65 \times 1.05 = 14.33 \text{ kg aire/kg combustible}$$

Como consecuencia del exceso de aire, se modificará la composición de los gases de combustión, ya que se está agregando una cantidad "extra" de  $13.65 \times 0.05 = 0.682$  kg de aire, constituido por  $0.682 \times 0.232 = 0.158$  kg de oxígeno y  $0.682 \times 0.768 = 0.524$  kg de nitrógeno. La composición en peso de los gases de combustión será:

	kg/kg de combustible
CO <sub>2</sub>	3.113
H <sub>2</sub> O	0.977
SO <sub>2</sub>	0.067
O <sub>2</sub>	0.158
N <sub>2</sub> (0.004 + 10.483 + 0.524)	<u>11.011</u>
T O T A L	15.326 kg gases/kg combustible

## COMPOSICION EN VOLUMEN DE LOS GASES DE COMBUSTION

Debido a que durante la operación del generador de vapor la relación aire/combustible se controla a partir del análisis de los gases de combustión (el cual se expresa como % en volumen) ya que para el diseño se requieren las velocidades de los gases a través de los diferentes bancos, es necesario convertir los pesos de los gases en volúmenes.

En condiciones normales de presión y temperatura (1 atmósfera y 0°C) un kilomol de cualquier gas ocupa un volumen de 22.4 m<sup>3</sup>. Entonces, para gases secos (porque la mayoría de los analizadores de gases dan el resultado en base seca), con 5% de exceso de aire, la composición en volumen de los gases de combustión será:

			% V/V (base seca)
CO <sub>2</sub>	(3.113 x 22.4/44)	=1.585 m <sup>3</sup>	15.05
SO <sub>2</sub>	(0.067 x 22.4/32)	=0.023 m <sup>3</sup>	0.22
O <sub>2</sub>	(0.158 x 22.4/28)	=0.111 m <sup>3</sup>	1.06
N <sub>2</sub>	(11.011 x 22.4/28)	<u>=0.809 m<sup>3</sup></u>	<u>83.67</u>
T O T A L		10.528 m <sup>3</sup>	100.00

PRODUCTOS DE COMBUSTION

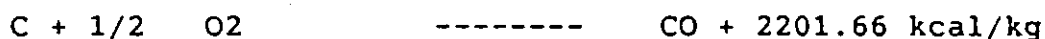
Los productos obtenidos mediante la combustión de combustóleo con un generador de vapor dependen de las particularidades del combustóleo y del estado de conservación y operación del generador. Estas condiciones determinan la concentración de cada producto e incluso, la presencia o ausencia de alguno de ellos.

Los productos de combustión incluyen compuestos gaseosos, vapores y sólidos. Entre los dos primeros se encuentran los óxidos de carbono, agua, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrógeno, compuestos hidrocarbonados, etc.

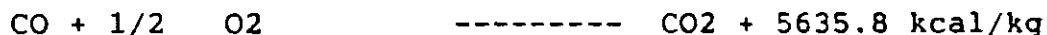
Los sólidos pueden dividirse en dos grupos: Los que se depositan en la zona de alta temperatura, formados por compuestos inorgánicos provenientes de los elementos metálicos presentes en el combustible, y los que son transportados por los gases de combustión hasta las regiones de baja temperatura, constituidos por carbón, óxidos y sales metálicas.

PRODUCTOS DE COMBUSTION DEL CARBONO

En las primeras etapas de la combustión y como resultado de la combustión incompleta del carbono del combustible se forma monóxido de carbono según la reacción:



Casi inmediatamente, en presencia de oxígeno y siempre que la temperatura sea superior a 1000°C, el CO2 siguiendo la reacción:



Para que la oxidación de CO a CO2 se complete antes de que los gases abandonen la región fuertemente reactiva de la flama, se requiere un buen mezclado aire combustible.

Si la aerodinámica de los quemadores no propicia esta mezcla, en los gases de salida se observarán altas concentraciones de CO coexistiendo con concentraciones de O2 también elevadas.

Esta situación es perjudicial ya que, debido al elevado calor de combustión de la reacción de oxidación de CO, su presencia en los gases de escape implica una disminución apreciable de la eficiencia del generador de vapor.

Por ello es conveniente quemar al combustible utilizando todo el exceso de aire que resulte necesario para evitar la presencia de CO en los gases de combustión, esto es, para lograr la oxidación completa del C a CO<sub>2</sub>. En la práctica esta oxidación puede considerarse "completa" cuando la concentración de CO en los gases de combustión es menor o igual que 200 p.p.m. en volumen.

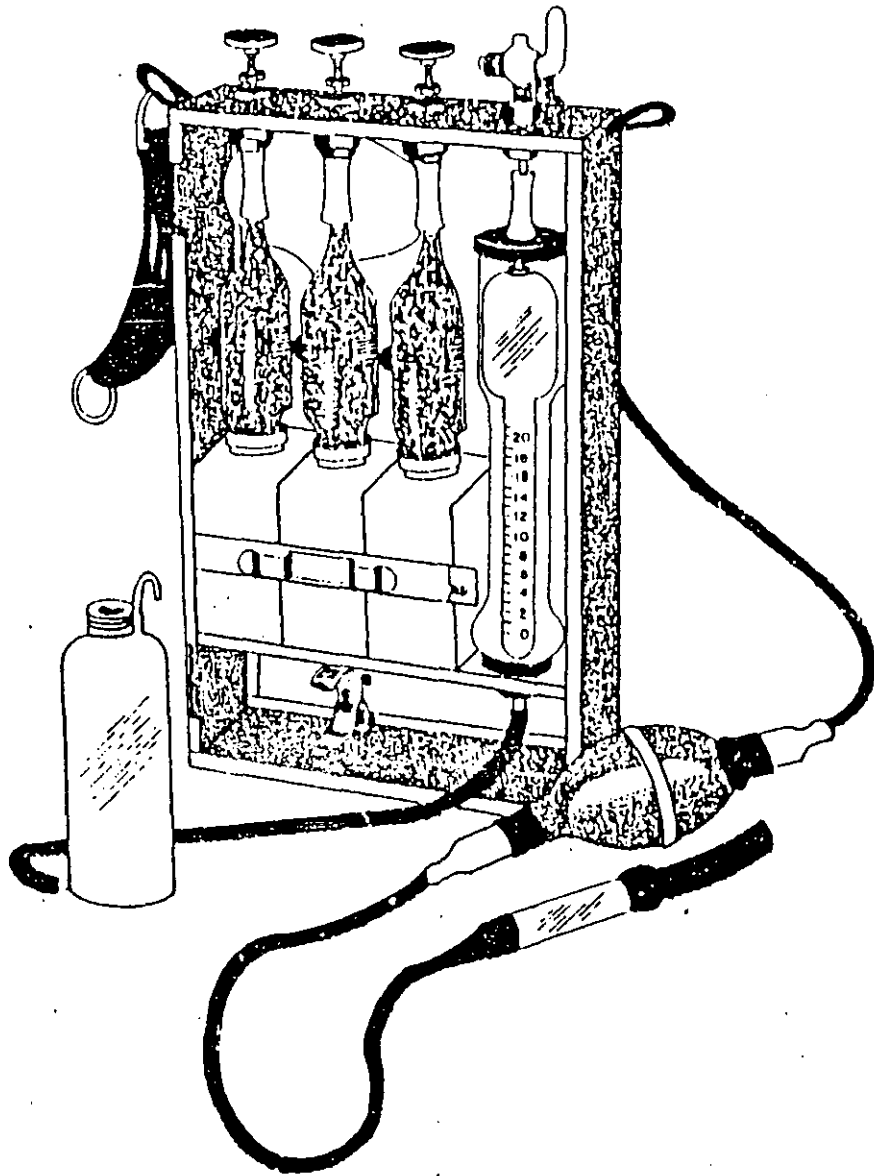
También provienen de la combustión incompleta del C las partículas sólidas presentes en las regiones de baja temperatura (precalentador de aire y chimenea); dichas partículas son, como se ha dicho, básicamente de dos tipos: el hollín (o soot), constituido predominantemente por carbón y con un tamaño inferior a 5 micras, y las cenósferas, de tamaño entre 10 y 100 micras, formadas por una matriz carbonosa que incluye óxidos y sulfatos provenientes principalmente de los metales presentes en el combustible.

La concentración de partículas carbonosas, así como su contenido de carbón y su morfología, están ligados a varios factores: cantidad de compuestos asfálténicos y polar-aromáticos del combustible, diámetro medio de las gotas producidas por los atomizadores, exceso de aire de combustión y tiempo de residencia en la región de muy alta temperatura.

Las partículas pequeñas (soot) deben quemarse después de efectuar su aporte a la radiación total de la flama. Su presencia en los productos finales de combustión se debe a defectos locales de oxígeno, es decir, a una aerodinámica defectuosa.

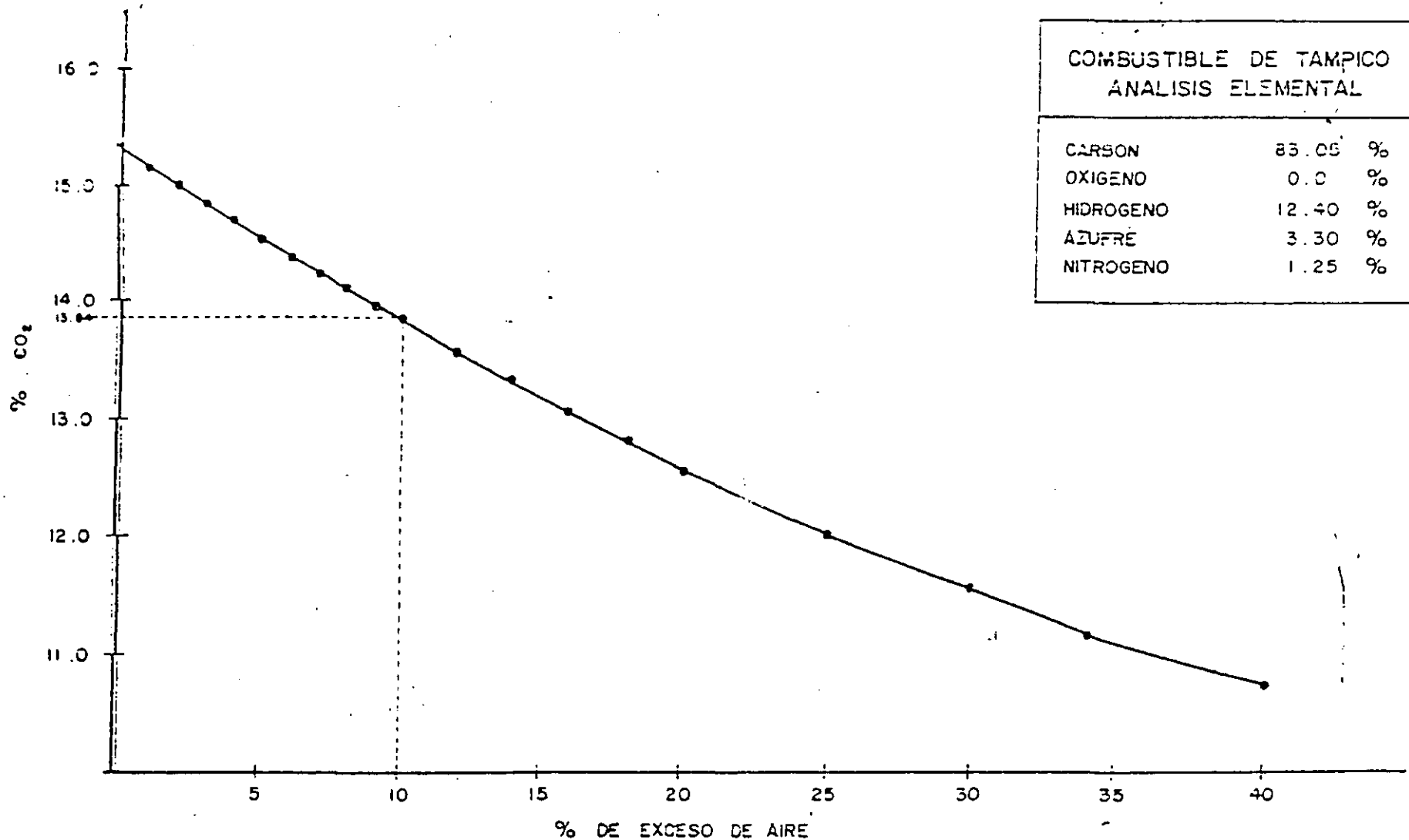
Asimismo, la presencia de cenósferas en dichos productos, indica que la atomización no fue suficientemente buena como para permitir la combustión eficiente del combustible utilizado.





Anallzador de gases Orsat.

GRAFICA PARA DETERMINAR EL EXCESO DE AIRE EN FUNCION DEL  
ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION (ORSAT)



COMBUSTIBLE DE TAMPICO ANALISIS ELEMENTAL		
CARBON	83.05	%
OXIGENO	0.0	%
HIDROGENO	12.40	%
AZUFRE	3.30	%
NITROGENO	1.25	%

## PRODUCTOS DE COMBUSTION DEL HIDROGENO

La combustión del hidrógeno forma agua siguiendo la reacción:

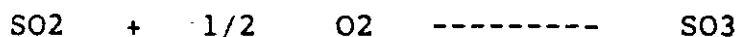


## PRODUCTOS DE COMBUSTION DEL AZUFRE

Durante las primeras etapas del proceso de combustión, el azufre el combustible se oxida a bióxido de azufre:



En porteriores etapas, una pequeña cantidad de dióxido de azufre (1. a 3 %) se oxida a trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) siguiendo diversos mecanismos de reacción. La reacción es en realidad un equilibrio representado por:



El SO<sub>3</sub> es susceptible de combinarse con el agua presente en los gases de combustión para formar ácido sulfúrico, el cual puede depositarse en las zonas de baja temperatura del generador de vapor causando fuerte corrosión en las mismas.

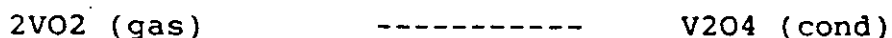
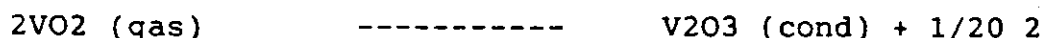
Debido a que, cualquiera que sea el mecanismo de la reacción, siempre se requerirá oxígeno para convertir al SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub> (y este oxígeno solo podrá provenir del exceso de aire de combustión), resulta evidente la conveniencia de quemar al combustible con el menor exceso de aire posible para minimizar la conversión ya citada.

PRODUCTOS PROVENIENTES DEL VANADIO

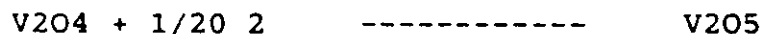
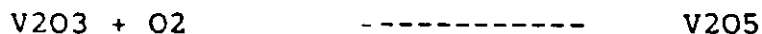
Los productos iniciales en que se transforma el vanadio durante el proceso de combustión son probablemente VO y VO<sub>2</sub> (monóxido y dióxido de vanadio respectivamente). La proporción relativa de los mismos queda determinada por la temperatura y la concentración de oxígeno en los gases.



Como estos óxidos tienen una presión de vapor muy baja aparecen en la flama como partículas sólidas o semisólidas de V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y V<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (trióxido y tetraóxido de vanadio respectivamente) debido a las reacciones:



A medida que los gases se van enfriando, las partículas de V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y V<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pueden absorber oxígeno transformándose en V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de vanadio, con P.F. 687°C), siguiendo las siguientes reacciones:



Por su gran agresividad química y su bajo punto de fusión, el V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es uno de los principales promotores de la corrosión en las zonas de alta temperatura del generador de vapor (bancos de sobrecalentadores y recalentadore). Combinado con el Sodio (Na) del combustible, forma sobre dichos bancos depósitos fundidos que, además de corrosivos son aislantes del calor y reducen la eficiencia del generador de vapor. Por ello resulta conveniente tratar de inhibir la formación de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El modo más simple de hacerlo es reduciendo el exceso de aire de combustión para que los óxidos inferiores de vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y V<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) no dispongan de oxígeno para oxidarse a V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## REDUCCION DE EMISIONES DE NOX

### PRODUCTOS DE COMBUSTION DEL NITROGENO

El aire contiene 79% en volumen de nitrógeno, parte del cual reacciona con el oxígeno junto con el nitrógeno que posee el combustible, a temperaturas superiores a 1500°C, formando diversos óxidos (NOx) que se incorporan a los productos de combustión. La combustión de estos productos, depende del combustible utilizado, de la reacción aire/combustible y de las condiciones en que se realice la combustión.

Tipos de emisión de NOx:

La Combustión produce NOx por 2 mecanismos básicos:

- El NOx llamado "thermal NOx" proviene del Nitrógeno molecular del aire y se forma en la región de alta temperatura de la flama.
- El NOx llamado "fuel NOx" proviene del Nitrógeno de los compuestos incorporados al Combustible que se oxidan para producir el NOx.

La formación del "thermal NOx" es un proceso controlado cinéticamente y esta formación se incrementa en forma exponencial con la temperatura.

El mecanismo de las reacciones químicas es complicado, pero se sabe que el NOx se forma en las zonas de alta temperatura de la flama, siempre y cuando haya átomos de oxígeno disponibles.

Cuando las condiciones de operación se incrementa (carga), la temperatura de la flama se incrementa, por lo que la formación de NOx también se incrementa. Así, más NOx se forma con el precalentamiento del aire para la combustión o en calderas u hornos que operan con hogar de alta temperatura.

El "fuel NOx", se forma en mayor proporción de los combustibles pesados porque contienen mayor contenido de compuestos de nitrógeno. Los combustibles gaseosos contienen compuestos como el amoníaco (NH<sub>3</sub>), que también pueden formar NOx.

La formación de este "fuel NOx" también se forma en la región de alta temperatura de la flama, pero su formación es sensible a la concentración local de oxígeno disponible.

La cantidad del nitrógeno de los compuestos de nitrógeno del combustible que se convierten a NOx depende de la cantidad que tenga el combustible. La emisión de NOx se incrementa de acuerdo con este contenido de compuestos de nitrógeno.

## MÉTODOS DE CONTROL DE COMBUSTION PARA EL NOx DE FUENTES ESTACIONARIAS

Los parámetros principales que afectan la formación de NOx son:

- Temperatura
- Tiempo de residencia
- Concentración de las varias especies
- Grado de mezclado

Desde un punto de vista experimental, los factores que controlan la formación de NOx incluyen:

- 1) La relación entre el aire y el combustible
- 2) Temperatura del aire de la combustión
- 3) Grado de enfriamiento de la zona de combustión
- 4) Configuración del quemador del horno.

La consideración de estos factores básicos de diseño lleva a las técnicas de combustión conocidas como la recirculación de los gases de la combustión y la combustión de dos etapas. El tipo de combustible tiene también una gran influencia sobre el funcionamiento.

La temperatura, por encima de la cual resulta significativa la formación de NO, es alrededor de 1,800 °K (2,800 °F), las concentraciones de NO2 se reportan frecuentemente en partes por millón. Para convertir de ppm a libra NO2/10 Btu se utiliza la relación.

$$\text{NO}_2 \left( \frac{\text{lb}}{106 \text{ Btu}} \right) = \frac{46.0 \text{ (FG) (PPM)}}{(\text{PM fg}) \text{ (HHV)}} \quad (8.15)$$

Donde:

FG son las libras de gases secos de la combustión por libra de combustible.

PPM es la concentración de NO<sub>2</sub> en partes por millón.

PMfg es el peso molecular de los gases de la combustión (sobre una base seca).

HHV es el valor calórico más alto en unidades térmicas británicas por libra.

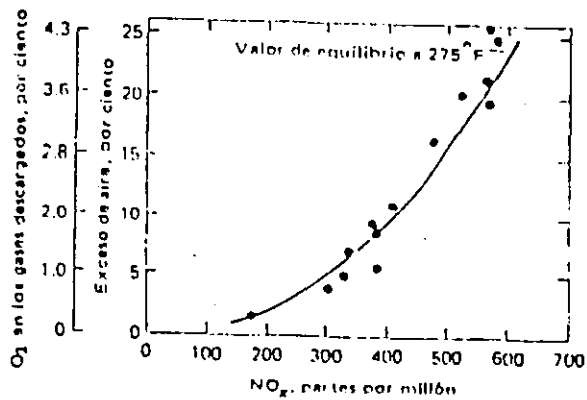
Un ejemplo de norma de emisión para las nuevas unidades generadoras de vapor de más de  $250 \times 10^6$  Btu./h de entrada de calor son:

1. Alimentadas con gas, 0.20 lb/10<sup>6</sup> Btu.
2. Alimentadas con petróleo, 0.30 lb/10<sup>6</sup> Btu.
3. Alimentadas con carbón, 0.60 lb/10<sup>6</sup> Btu.

Estas emisiones están expresadas como NO<sub>2</sub>. Sobre una base de partes por millón, estos valores serán aproximadamente 175 ppm para las unidades alimentadas con gas, 230 ppm para las alimentadas con petróleo, y 490 ppm para las alimentadas con carbón.

#### Efecto del exceso de aire

Fundamentalmente, la presencia de un exceso de aire afecta tanto la temperatura como la concentración de oxígeno de los gases en la zona de poscombustión. En la figura se muestran los resultados de alimentar con carbón pulverizado una unidad experimental. En este caso específico el NO<sub>x</sub> disminuyó de entre 550 y 575 ppm, a 25 por ciento de exceso de aire. (A pesar de que no se ha mostrado, esta disminución global de 70 por ciento en el NO<sub>x</sub> estaba acompañada por una disminución en la eficiencia de combustión del carbón. Bajó de una eficiencia de 99.5 por ciento, con un 25 por ciento de exceso de aire, a casi 92 por ciento a 2 por ciento de exceso de aire). La tendencia general será la misma para el petróleo o el gas natural como combustible. Nótese que el más pronunciado descenso de la concentración de NO<sub>x</sub> es para un exceso de aire bajo (10 por ciento). Esto sucede a pesar del hecho de que la temperatura de la flama aumenta según la concentración del aire a la entrada se acerca a su valor estequiométrico. La caída rápida en la concentración del oxígeno domina en este caso sobre el efecto de la temperatura.



FORMACION DE MONOXIDO DE NITROGENO COMO UNA FUNCION DEL EXCESO DE AIRE PARA EL CASO DE UNA UNIDAD ALIMENTADA CON CARBON PULVERIZADO. (FUENTE: D. BIENSTOCK. 1972 INDUSTRIAL COAL CONFERENCE, UNIVERSIDAD DE PURDUE, OCTUBRE DE 1972).



## Efecto de la temperatura de combustión del aire

En muchas operaciones industriales se dispone frecuentemente de calor residual como ayuda para precalentar el aire que entra en un proceso de combustión. El uso de un precalentador de aire en las plantas generadoras de energía en gran escala, es un ejemplo típico. A pesar de que este proceso causa un ahorro apreciable de energía, la energía añadida aumenta la temperatura de la flama. Por tanto, aumentan las emisiones de NOx. Los datos de pruebas en gran escala en calderas indican un aumento triple en las emisiones de NOx cuando el aire de la combustión se precalienta de 80° a 600°F. Una porción significativa del aumento tuvo lugar en el intervalo superior de temperaturas (de 450° a 600°F).

## Efecto del enfriamiento en la zona de combustión

Como la temperatura ejerce una influencia tan grande en la formación del monóxido de nitrógeno, un método efectivo de control es enfriar la zona de flama primaria, por transferencia de calor a las superficies adyacentes. Se podrá anticipar que mientras más elevada sea la tasa de liberación de calor por área superficial efectiva, más alta será la temperatura en la zona de la flama y, por tanto, más elevadas las emisiones de NOx.

En términos de la conveniencia de las elevadas tasas de remoción de calor, el carbón y el petróleo tienen una ventaja sobre el gas. Las flamas de los dos primeros combustibles son en general luminosas. Por tanto, se aumenta la transferencia de calor radiante y se mantienen temperaturas más bajas. De aquí resulta que la cantidad de NOx formado en el caso de la alimentación de gas puede ser mayor que en el caso del petróleo para la misma liberación de calor. Sin embargo, las unidades alimentadas con gas tienen usualmente más bajas concentraciones de NOx. Se sospecha que la contribución del nitrógeno del combustible en el petróleo y el carbón compensa los otros factores.

## Efecto de la configuración del quemador del horno

La configuración del quemador tiene un importante papel en el control del NOx. Por ejemplo, el quemador de carbón del tipo ciclónico y de turbulencia elevada es causa de concentraciones altas de NOx. Es un ejemplo de un dispositivo de tasa elevada de liberación de calor, lo que se debe evitar. La alimentación tangencial (las unidades en las que los sumideros térmicos están muy cercanos a la flama del quemador) ha producido reducciones reportadas de NOx de 50 a 60 por ciento sobre las técnicas de alimentación convencionales.

Existen en el mercado quemadores que permiten quemar combustible con niveles de aire menor a 0.5% de exceso de Oxígeno y CO menor de 0.08 lb/MM Btu.

Estos quemadores producen una flama patrón que se fija al arranque. Esto se hace ajustando el aire de la combustión (primario y secundario), el ángulo del quemador, número de inyectores de combustible, etc.

Este tipo de quemadores, se ha diseñado para producir una combustión de bajo NOx.

#### Recirculación de los gases de la combustión

La recirculación de los gases de la combustión es un importante método que se emplea en el control de NOx de fuentes estacionarias (y fuentes móviles). Parte de los gases fríos de la combustión se reinyecta en la zona de combustión. Este gas adicional actúa como un sumidero térmico y reduce la temperatura de combustión global. Además, se reduce la concentración de oxígeno. Ambos efectos favorecen una reducción de las emisiones de NOx. Una desventaja es el mayor costo del conjunto de ductos, ya que están implícitos grandes volúmenes de gas. Sin embargo, esta técnica suministra al operador un elemento adicional de control, ya que el por ciento de recirculación se puede variar sobre un intervalo algo restringido. En cantidades de hasta 25 por ciento, el gas recirculado tiene un efecto insignificante sobre el desarrollo de la flama. No obstante, la recirculación parece ser relativamente poco efectiva en la reducción del NOx formado del nitrógeno del combustible.

#### Combustión de dos etapas o casi estequiométrica.

Ya se indicó el efecto beneficioso de un bajo exceso de aire en la formación del NOx. Para aprovechar este efecto se puede emplear un método de alimentación llamado combustión de dos etapas. En este caso, el combustible (petróleo o gas) y el aire se queman en condiciones casi estequiométricas. Se podría usar una atmósfera reductora para una porción de la región de la flama. Usualmente, de 85 a 95 por ciento de los requerimientos totales de aire (que varían por lo general de 110 a 130 por ciento de los valores estequiométricos) se introduce en el quemador junto con el combustible. Debido a la combustión incompleta, y quizá al aumento simultáneo de la transferencia de calor radiante, la temperatura del gas se mantiene baja en esta primera etapa de la combustión. Se disminuye así la formación de NO. En segundo lugar, falta oxígeno para la formación de NO en esta etapa. Se obtiene la combustión completa que consume el CO y los hidrocarburos remanentes de la primera etapa, inyectando aire secundario corriente abajo. Ya entonces, la temperatura es suficientemente baja para que la formación de NO esté cinéticamente limitada. Este método proporciona un perfil mucho más conveniente de temperatura contra tiempo. La combustión casi estequiométrica, que utiliza quemadores alternativos ricos y pobres en combustible, es una variante optimizada de la combustión por etapas.

En resumen, las técnicas de modificación de la combustión parecen constituir en enfoque atractivo para el control de los óxidos de nitrógeno. Básicamente, todos estos métodos de control se basan en dos principios teóricos:

1. Alcanzar un tiempo mínimo de residencia de los gases de la combustión a las temperaturas pico de la flama, por medio de:
  - a) bajando directamente la temperatura pico de la flama
  - b) aumentando la tasa de remoción de calor
  - c) evitando tasas elevadas de liberación de calor.
2. Limitar la disponibilidad de los elementos de reacción, utilizando un bajo exceso de aire.

Cualquier método de control en particular podrá aprovecharse de varios de los medios anteriores, y podrán ocurrir efectos sinérgicos. Entre las posibilidades atractivas se incluyen la combustión de dos etapas, la combustión con bajo exceso de aire, rediseñar el quemador y modificar las técnicas de la combustión, y la combustión en lechos fluidizados. El tipo de combustible influye notablemente en la tasa de las emisiones del NO<sub>x</sub>.

#### MÉTODOS DE CONTROL DE LOS GASES DE LA COMBUSTION PARA EL NO<sub>x</sub>

Puede que en algunos procesos de combustión no sea posible, por varias razones, utilizar controles directos de la combustión para alcanzar niveles convenientes para las emisiones de NO<sub>x</sub>. Será necesario en estos casos eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases fríos de la combustión antes de que descarguen a la atmósfera. Se investigan en la actualidad unos cuantos métodos para la remoción del NO<sub>x</sub>.

Entre las posibles técnicas de remoción de los óxidos de nitrógeno están la descomposición catalítica, la reducción catalítica, la absorción y la adsorción.

## Descomposición catalítica.

Sería muy conveniente poder utilizar la descomposición directa del NO en N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Se dispone de numerosos datos para una variedad de catalizadores. Aun cuando la cinética del mecanismo de reacción sea todavía un tema de discusión, los datos obtenidos hasta la fecha indican que la reacción de descomposición es extremadamente lenta. No se ha encontrado ningún catalizador que proporcione suficiente actividad a temperaturas razonables. La remoción del NO de los gases de combustión por esta técnica no es práctica en estos momentos.

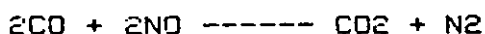
## Reducción catalítica.

La reacción con otro compuesto reduce el NO a nitrógeno molecular. Será necesario considerar dos tipos de reducción.

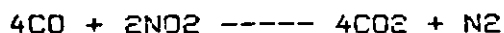
- Selectiva y no selectiva.

En la reducción selectiva, el reactivo añadido reduce preferentemente el NO<sub>x</sub>. En la reducción no selectiva, habrá que consumir primero el exceso de O<sub>2</sub>. Se ha de preferir la reducción selectiva, ya que minimiza la cantidad requerida de reactivo.

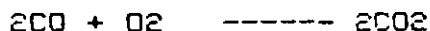
La reducción selectiva se puede llevar a cabo con H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, o H<sub>2</sub>S como el gas reactivo, y con un catalizador adecuado. Cuando se utiliza el CO, el catalizador adecuado permite reacciones globales del tipo de



y



antes que la reacción de combustión



El uso del CO tiene la desventaja de que cualquier cantidad que quede sin reaccionar se suma a la contaminación general por el CO en la atmósfera. Es preferible utilizar hidrógeno que utilizar CO. Sin embargo, algunos catalizadores para el H<sub>2</sub> no son efectivos en la presencia del CO (que emana de la reacción principal de combustión). Se ha comprobado que los catalizadores más efectivos son los metales del tipo del platino.

## Absorción

El agua puede absorber los óxidos de nitrógeno, soluciones de hidróxidos y carbonatos, ácido sulfúrico, soluciones orgánicas, y carbonatos e hidróxidos alcalinos fundidos. Cuando se utilizan soluciones alcalinas acuosas, como NaOH y  $Mg(OH)_2$ , la completa remoción requiere que la mitad del NO se deberá oxidar primero a NO<sub>2</sub> (o añadir NO<sub>2</sub> gaseoso a la corriente de gas). La absorción óptima ocurrirá cuando la relación molar de NO/NO<sub>2</sub> sea de 1:1, lo que indica que la absorción del óxido combinado, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, es la más favorable. La absorción de NO<sub>x</sub> por soluciones alcalinas se confirma durante la desulfuración de las emisiones de las plantas generadoras de energía por dichas soluciones. En el proceso de desulfuración, aparentemente 10 por ciento del NO se oxidaba a NO<sub>2</sub> antes de que los gases de la combustión llegaran al depurador. Este último eliminaba entonces cerca del 20 por ciento del NO<sub>x</sub>, en partes iguales de NO y NO<sub>2</sub>.

## Adsorción

El uso del carbono (carbón activado) para adsorber los óxidos de nitrógeno ha sido estudiado extensamente. El carbón tiene una alta tasa y capacidad de adsorción, comparado con otros materiales. No obstante, la regeneración podría constituir un problema. Podría presentarse otra dificultad con los riesgos potenciales de incendio y explosión con dicho material, ya que el O<sub>2</sub> está usualmente presente en los gases de la chimenea. El óxido de manganeso y los óxidos férricos alcalinizados muestran un potencial técnico. No obstante, la atrición del sorbente es un importante obstáculo tecnológico. La técnica no parece ser muy prometedora en la actualidad.

## INTRODUCCION AL CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Poco a poco la humanidad se viene dando cuenta de que nuestra tierra es como nave espacial, en la que viajamos sin entrenamiento ni instrucciones de operacion, con delicadissimos mecanismos automaticos para la supervivencia que podemos y estamos descomponiendo con nuestras irreflexivas acciones.

Hasta este momento ha sido por el metodo de prueba y error - como hemos venido desarrollandonos, pero los avances tecnologicos y el incremento de la poblacion nos convierten en pasajeros cada vez mas peligrosos para nuestro vehiculo espacial. Es necesario - que asumamos la responsabilidad de tripulantes y operemos esta nave correctamente, usando los sistemas de regeneracion de recursos dentro de su capacidad normal, sin arrancarle partes del fuselaje ni afectar sus equipos e instrumentos.

Estas charlas tienen como objeto presentar un panorama general de la contaminacion atmosferica, sus causas y los metodos empleados para reducirla, ya que no es factible eliminarla totalmente.

## ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES:

Los contaminantes atmosfericos por su origen se clasifican en:

### NATURALES

Generados sin la intervencion directa del hombre, tales como polvo de erosion, polen, gases de la putrefaccion de materia organica, emanaciones volcanicas, etc.

### ARTIFICIALES

Son las producidas por actos humanos, distinguiendose:

#### FUENTES MOVILES

#### FUENTES FIJAS

## TIPOS DE CONTAMINANTES:

Por su naturaleza los contaminantes atmosfericos pueden ser:

SOLIDOS

LIQUIDOS

GASEOSOS

FORMAS DE ENERGIA

## DISTRIBUCION:

De diversos estudios realizados desde 1972 se desprende que las emisiones de vehiculos de combustion interna originan entre el 65 y el 80 % de la contaminacion atmosferica; La industria emite del 15 al 20 % y por medios naturales se generan entre el 5 y el 12 % del total.

## DEFINICIONES:

### CONTAMINACION:

La presencia en el ambiente de uno o mas contaminantes o cualquier combinacion de ellos que cause desequilibrio ecologico.

### CONTAMINANTE ATMOSFERICO:

Toda materia o energia en cualesquiera de sus estados - fisicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmosfera, altere o modifique su composicion y condicion natural.

### DESEQUILIBRIO ECOLOGICO:

La alteracion de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformacion y desarrollo del hombre y demas seres vivos.

### EMISION:

La descarga directa o indirecta a la atmosfera de toda sustancia, en cualquiera de sus estados fisicos, o de energia.

### FUENTE FIJA.

Toda instalacion establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, o actividades - que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmosfera.

### FUENTE MOVIL:

Aviones, helicopteros, ferrocarriles, tranvias, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automoviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria no fijos con motores de combustion y similares, que con motivo de su operacion generen o puedan generar emisiones -- contaminantes a la atmosfera.

### FUENTE MULTIPLE:

Aquella fuente fija que tiene dos o mas ductos o chimeneas por las que se descargan las emisiones a la atmosfera provenientes de un solo proceso.

### FUENTE NUEVA:



**FUENTE MULTIPLE:**

Aquella fuente fija que tiene dos o mas ductos o chimeneas por las que se descargan las emisiones a la atmosfera provenientes de un solo proceso.

**FUENTE NUEVA:**

Aquella en la que se instale por primera vez un proceso o se modifiquen las existentes.

**INMISION:**

La presencia de contaminantes en la atmosfera a nivel - de piso.

**PLATAFORMA Y PUERTOS DE MUESTREO:**

Instalaciones para realizar el muestreo de gases o particulas en ductos o chimeneas.

**VERIFICACION:**

Medicion de las emisiones de gases o particulas solidas o liquidas a la atmosfera, provenientes de vehiculos automotores.

**ZONA CRITICA:**

Aquella en que por sus condiciones topograficas y meteorologicas se dificulte la dispersion o se registren altas concentraciones de contaminantes a la atmosfera.

## LEGISLACION RELACIONADA CON LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

El unico medio correcto con que cuenta la sociedad para obligar a sus miembros a hacer o dejar de hacer algo en su beneficio, es la promulgacion de ordenamientos legales al efecto.

La historia esta llena de ejemplos de acciones humanas que - tras de un beneficio inmediato para la gente, ocasionan un efecto perjudicial al medio que se revierte contra nosotros directa o indirectamente; cuando esto ha ocurrido, cientificos, tecnicos u otros vigilantes del progreso, han identificado el problema y dado la voz de alarma, pero la solucion de los problemas no esta a su alcance o no conoce las posibilidades de accion. La poblacion afectada sin necesidad de conocimientos especiales conoce el problema porque sufre sus efectos, pero mientras permanecen como victimas individuales es poco lo que pueden hacer, pues generalmente las acciones a tomar caen dentro del ambito de accion de los politicos y gobernantes que casi nunca se adelantan a las iniciativas populares.

La accion conjunta de la poblacion ha movilizado las diferentes esferas gubernamentales y ha logrado la emision de normas legales con las que se intenta revertir esta situacion.

A fines de 1970 se preparo y se promulgo apresuradamente en Marzo de 1971 la Ley Federal para Prevenir y Controlar la contaminacion Ambiental. En septiembre de 1971 se emitio el Reglamento - para Prevenir y Controlar la Contaminacion Atmosferica Originada por la Emision de Humos y Polvos, justo a tiempo para su presentacion en la Reunion Mundial del Medio Ambiente, celebrada en Estocolmo en 1971.

Algunos meses despues se tuvo que modificar la Constitucion General de la Republica para incluir las facultades gubernamentales en este campo, pues la Ley Federal citada no tenia respaldo contitucional.

La ley Federal tenia como objeto conceder facultades al Ejecutivo Federal para actuar en el campo de la contaminacion del ambiente, y el Reglamento establecio bases muy generales para empezar la lucha contra la contaminacion. La Ley ha sido derogada al promulgarse en enero de 1983 la Ley Federal de Proteccion al Ambiente que fue reformada en enero de 1984 y esta a su vez con la publicacion de la Ley Federal del Equilibrio Ecologico y la Proteccion del Ambiente.

El Reglamento de la Ley Federal del Equilibrio Ecologico y la Proteccion del Ambiente en Materia de Prevencion y Control de la Contaminacion Atmosferica vigente se publico en noviembre de 1988.

# EQUIPO DE CONTROL PARA CONTAMINACION ATMOSFERICA

## 1 INTRODUCCION.

El deterioro de la calidad del aire en el pais ha sido cada vez mas evidente, especialmente en las areas urbanas como la zona metropolitana de la Cd. de Mexico, Monterrey y Guadalajara, y en zonas industriales como Coatzacoalcos, Minatitlan, Salamanca etc. Debido a esto es cada vez mas importante y necesario que se evite o reduzca las emisiones contaminantes de la atmosfera.

La mayor parte de las tecnicas usadas en el control de la contaminacion atmosferica se conoce desde hace nucho tiempo pero no se han puesto en operacion con la intensidad debida. En este trabajo se intenta una rapida revision de esas tecnicas y sus posibilidades.

## 2 DEFINICION.

Se entiende por contaminante toda materia o energia que por su naturaleza intensidad, concentracion o ubicacion, afecte la calidad del ambiente de manera que pueda provocar danos o molestias a la salud, la fauna, la flora y/o el equilibrio ecologico.

## 3 CLASIFICACION

Los contaminantes pueden clasificarse desde diferentes puntos de vista; por su estado fisico se dividen en:

GASES  
VAPORES  
PARTICULAS SOLIDAS  
PARTICULAS LIQUIDAS

Por su origen los contaminantes pueden clasificarse como:

NATURALES:

CENIZAS Y GASES VOLCANICOS  
GASES DE PUTREFACCION  
PARTICULAS DE EROSION HEOLICA

## ARTIFICIALES.

Productos de:

COMBUSTION  
REACCIONES QUIMICAS  
FRAGMENTACION

### 4 CONTROL DE EMISIONES:

En cuanto a medidas de control, la division mas importante se refiere al tipo de fuente que origina los contaminantes distinguiendose entre :

FUENTES MOVILES  
FUENTES FIJAS

#### 4.1 OBJETIVOS DEL CONTROL DE EMISIONES

Los objetivos de control de emisiones son variados y entre ellos se puede distinguir:

4.1.1 ECONOMICOS. Cuando el control de emisiones o la captacion de contaminantes reporta un beneficio directo, ya sea por ser parte del proceso productivo o por permitir la recuperacion de materiales valiosos, ahorrar energia o utilizar el gas limpio.

#### 4.1.2 SOCIALES

Entre los objetivos sociales se pueden contar los citados a continuacion:

Reducir riesgos a la salud de los trabajadores  
Mejorar relaciones con la comunidad.  
Atenuar la degradacion del ambiente  
Cumplir con leyes y reglamentos.

Si bien los demas motivos son validos, actualmente resulta ser el motivo mas importante el cumplir con las leyes y reglamentos vigentes, ya que a medida que la contaminacion aumenta la sociedad requiere medios para obligar a sus miembros a cumplir con la parte que le corresponde a la solucion del problema.

### 5 MEDIDAS DE CONTROL

Las medidas de control si bien son semejantes entre si, presentan matices diferentes segun el tipo de fuente que los genera, por lo que las trataremos por separado:

## 5.1 FUENTES MOVILES

La contaminacion originada en fuentes moviles se pue de controlar o reducir por medio de:

### 5.1.1 REDUCCION DE EMISIONES:

- Motores mas eficientes
- Mejores carburadores
- Uso de catalizador

### 5.1.2 FUENTES DE ENERGIA ALTERNAS.

- Bicicleta
- Metro
- Trolebuses
- Automoviles electricos

### 5.1.3 USO RACIONALIZADO DEL TRANSPORTE:

Reduccion del uso de automovil particular utilizando:

- Metro
- Tren electrico
- Autobuses
- Trolebuses

Efectos de las medidas de transporte colectivo:

En las ultimas dos decadas se han hecho esfuerzos y se han obtenido grandes avances en la reduccion de emisiones, pues facilmente se advierte que los vehiculos son mas ligeros, tienen motores y sistema de combustion mas eficiente, y bien mantenidos y operados emiten solo una fraccion de los contaminantes que antes se descargaban a la atmosfera; sin embargo el aumento en la cantidad de vehiculos ha hecho que esto resulte insuficiente.

En el uso de otras fuentes de energia no se han logrado avances tan espectaculares, pues no se ha incrementado suficiente el uso de la bicicleta ni es aun factible usar automoviles electricos autogeneradores, y los otros vehiculos que usan electricidad tales como el Metro y Trolebuses requieren la generacion de energia que en su mayor parte se producen por termoelectricas que tambien generan contaminantes.

La medida que mas beneficacions puede ocasionar y en el menor plazo es la racionalizacion del transporte median

te el uso de transporte masivo. El programa HOY NO CIRCULA ha sido un fracaso, pues al volverse obligatorio y sin haber una alternativa real de transporte colectivo, dio origen a un desusado incremento del numero de vehiculos en circulacion, de tal manera que los dias habituales se tiene igual cantidad de vehiculos circulando que antes del programa permanente, y los sabados y domingos que era periodos de recuperacion de calidad del aire, - se puede apreciar que tenemos una circulacion alta por la abundancia de unidades.

La solucion es entonces; mas metro, mas tren electrico y mas autobuses modernos equipados con motores y dispositivos para reducir la contaminacion.

Mejor vialidad para estos vehiculos en detrimento de la vialidad de los vehiculos privados.

La aplicacion de estas medidas queda en general fuera - del alcance del ciudadano medio que solo puede expresar a la autoridad en este sentido.

## 5.2 FUENTES FIJAS

### OPCIONES :

Para controlar las emisiones de fuentes fijas el procedimiento de seleccion adecuado incluye:

- 5.2.1 Revision del proceso. Investigar si este puede ejecutarse de otra manera que evite o reduzca la generacion de contaminantes.
- 5.2.2 Revision de equipo. Puede usarse otro tipo de maquina o de materias primas que generen menos contaminacion.
- 5.2.3 Control de emisiones. Una vez que se reviso la posibilidad de usar las dos primeras medidas sin obtener resultados, procede el control de emisiones.

## 5.3 CRITERIOS DE SELECCION.

Para seleccionar el sistema de control adecuado se requiere conocer previamente:

### 5.3.1 PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES

#### GENERALES:

#### ESTADO FISICO

COROSIVIDAD  
TOXICIDAD  
INFLAMABILIDAD  
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

PARA PARTICULAS:

TAMANO Y FORMA.  
DENSIDAD  
ADHESIVIDAD  
HIGROSCOPICIDAD  
ABRASIVIDAD

5.4 ALTERNATIVAS DE CONTROL DE EMISIONES.

Los equipos de control de emisiones atmosfericas de que se dispone para fuentes fijas (generalmente industrias) son, segun su funcionamiento:

5.4.1 COLECTORES SECOS:

INERCIALES:

CAMARAS DE SEDIMENTACION  
SEPARADORES DINAMICOS  
CICLONES

FILTROS DE BOLSAS:

DE TELA TEJIDA  
DE TELA AGUJADA

EQUIPOS DE ABSORCION:

DE CARBON ACTIVADO  
DE OTROS ELEMENTOS

PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

POSTQUEMADORES O INCINERADORES.

COMBUSTION NORMAL  
COMBUSTION CATALITICA

5.4.2 COLECTORES HUMEDOS:

CAMARAS DE ASPERSION  
FILTRO HUMEDO  
TORRES EMPACADAS  
VENTURI  
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

### 5.4.3 COLECTORES SECOS.

Los colectores secos se utilizan principalmente para captar contaminantes solidos o liquidos, dependiendo de laleccion del tipo y tamano de particulas a captar. Dependiendo de los materiales de construccion, resisten altas temperaturas y corrosividad, y pueden manejar sustancias corrosivas, higroscopicas, inflamables y toxicas. Sus caracteristicas mas notables son:

#### 5.4.3.1 COLECTORES INERCIALES:

Los colectores inerciales basan su funcionamiento en la rapidez con que las particulas pueden separarse de los gases que los portan, opuesta a su resistencia a caer en aire quieto. La velocidad maxima de caida se logra cuando el peso es equilibrado por la "flotabilidad" y la friccion generada por el movimiento en contacto con el aire.

#### CAMARAS DE SEDIMENTACION:

Estos equipos funcionan aprovechando la atraccion gravitacional, haciendo que las particulas se caigan en un deposito cuando pasan por una camara muy grande, que origina una velocidad de translacion muy baja y permite que las particulas se separen de la corriente gaseosa que los transporta. Ocupan mucho espacio, requieren poca energia (friccion de 5 a 20 mm de columna de agua) y en la practica solo se usan para particulas de mas de 100 micrometros ( $\mu\text{m}$ ).

#### SEPARADORES DINAMICOS:

Funcionan pasando los gases contaminados por un brusco cambio de direccion, con lo que las particulas suficientemente pesadas se escapan de la corriente gaseosa hacia un deposito. Tambien son voluminosos, requieren poca energia (presion estatica requerida de 15 a 50mm CA) y se usan para particulas de 50  $\mu\text{m}$ .

#### CICLONES:

La base de su funcionamiento es la fuerza centrifuga que actua sobre las particulas mas densas que el aire, que son sometidas a un flujo helicoidal semejante al de un ciclón, de donde reciben su nombre mas popular. Necesitan mas energia que los anteriores, pues su resistencia al paso del aire varia habitualmente de 50 a 120 mm CA y se usan con particulas entre 200 y 20  $\mu\text{m}$ .



#### 5.4.3.2 FILTROS DE BOLSAS:

Los filtros de bolsas operan por el principio de cernido, esto es, haciendo pasar el aire contaminado por una tela o tejido, en la que inicialmente se detienen las partículas más grandes que los orificios o poros y ya en operación se forma una capa del mismo material retenido (torta), en la que se retienen partículas mucho menores que los poros de la tela. Tienen una caída de presión alta (de 100 a 200 mmCA) y se usan para partículas hasta de un micrometro. Su principal limitación es que a medida que la torta crece, se requiere mayor presión para pasar los gases por el filtro, por lo que para operar en forma continua se requiere prever un sistema de limpieza de la tela.

##### DE TELA TEJIDA:

Estos filtros usan telas tejidas con hilos multifilamento, tienen la ventaja de ser fácilmente limpiables por sacudimiento o inversión de flujo, pero su permeabilidad es limitada, utilizándose en general para cargas de 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min.

##### DE TELA AGUJADA:

La tela agujada, se produce clavando en una tela lisa una gran cantidad de fibras, formando un tejido tipo fieltro, que puede retener partículas a diferentes profundidades, con lo que se pueden filtrar flujos mayores (hasta 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min), con la misma resistencia que el tipo liso.

##### VENTAJAS:

Retiene partículas hasta de un  $\mu$ m.  
Alta eficiencia de captación (superior al 98%)  
Eficiencia independiente del flujo manejado.

##### DESVENTAJAS:

Con telas normales (algodón, poliéster, etc), solo resisten temperaturas de hasta 120 grados C, y con telas especiales (fibra de vidrio o Nomex Dupont), pueden trabajar hasta por encima de 400 C.

Alto costo inicial.

Alto costo de mantenimiento.

#### 5.4.3.3 EQUIPOS DE ADSORCIÓN:

Con la necesidad de captar vapores contaminantes, especialmente vapores organicos, se ha venido extendiendo - el uso de sistemas de adsorción, en los que se hace pasar los gases contaminados por un relleno de material - adsorbente, tal como carbon activado o silica gel; estos materiales adsorben, es decir, retienen en su superficie las moleculas de los contaminantes.

Estos elementos pueden ser:

Regenerables, cuando cuentan con un sistema que mediante vapor o gases calientes, separan el material captado (desorben) para recuperarlo o destruirlo.

Desechables, cuando una vez que por estar cerca de la saturación, la eficiencia de adsorción disminuye por abajo de lo requerido. En este caso debe considerarse la posibilidad de que el elemento gastado constituya un residuo peligroso.

#### 5.4.3.4 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

Los precipitadores electrostaticos son considerados lo maximo en control de contaminación. La razón de ello es que pueden trabajar con eficiencias muy altas, pero ello depende de una correcta selección, fabricación, armado y operación.

Su funcionamiento se basa en que una partícula con carga electrostatica es atraída por cualquier cuerpo que tenga carga opuesta, con una fuerza que es directamente proporcional a la diferencia de carga e inversamente a la distancia que las separe. El equipo consiste generalmente de electrodos emisores cargados negativamente y electrodos receptores cargados positivamente, entre los que se hacen pasar las partículas contaminantes, que son bombardeadas por los electrones que fluyen en el campo electrostatico y cargadas hasta su saturación; depositándose luego en el electrodo receptor.

#### VENTAJAS:

Pueden lograrse eficiencias de mas de 99.997 %.  
Presentan baja resistencia al flujo (10 a 50 mmCA)  
Pueden manejar materiales humedos y abrasivos.  
Bajo costo de operación

#### DESVENTAJAS:

Solo operan a temperaturas menores de 300 C.  
No pueden manejar gases o particulas inflamables o explosivas.  
Alto costo inicial.

#### 5.4.3.5 POSTQUEMADORES O INCINERADORES:

Los postquemadores son especialmente adecuados para destruir sustancias peligrosas, tales como compuestos volatiles organicos, solventes, materiales toxicos, etc. Operan por el principio de combustion, oxidacion o disociacion de los contaminantes.

#### DE COMBUSTION NORMAL:

Los incineradores de combustion normal se usan llevando la temperatura de los gases, mediante la combustion de un combustible idoneo (generalmente gaseoso), a las temperaturas adecuadas para lograr los objetivos (de 800 a 1200 C), durante el tiempo necesario (de 0.1 a 1.5 segundos).

#### DE COMBUSTION CATALITICA:

Cuando los contaminantes son combustibles, tales como - la mayoria de los solventes y vapores organicos, se puede utilizar un quemador catalitico, en el que mediante la presencia de una gran superficie recubierta con un metal precioso (generalmente platino) que actua como catalizador, la combustion tiene lugar a temperaturas mucho mas bajas, de hasta 200 C.

#### VENTAJAS:

Destruyen totalmente los contaminantes, produciendo generalmente solo CO<sub>2</sub> y vapor de agua, rompiendo moleculas peligrosas (askareles).  
Aprovechan el calor de combustion de los vapores - contaminantes.

#### DESVENTAJAS:

Frecuentemente tienen un alto costo de operacion - por consumo de combustible.  
Requieren instrumentacion y cuidadoso mantenimiento para evitar emisiones toxicas.

**NIVEL EQUIVALENTE:**

Es el nivel de presión acústica uniforme y constante -- que contiene la misma energía que el ruido, producido - en forma fluctuante por una fuente, durante un periodo de observación.

**PRESION ACUSTICA:**

Es el incremento en la presión atmosférica debido a una perturbación acústica.

**RUIDO:**

Todo sonido indeseable que molesta o perjudica a las personas.

#### 5.4.3.6 COLECTORES HUMEDOS:

Los colectores humedos funcionan haciendo entrar en contacto los contaminantes de una corriente gaseosa con agua u otro liquido capaz de retenerlos, absorberlos o diluirlos. La eficiencia de captacion depende de la superficie de contacto gas-liquido y de la relacion entre el tamano de las particulas y las gotas, por lo que resulta evidente que entre menores sean las gotas en que se fragmenta el liquido captador, mayor sera la eficiencia de captacion.

#### CAMARAS DE ASPERSION:

Las camaras de aspersion son generalmente cuerpos cilindricos o rectangulares por los que pasan los gases expuestos a una lluvia de liquido que sale de boquillas de aspersion situadas dentro del conducto. Generalmente son de baja eficiencia y sirven solo para particulas -- de 50 um o mas.

#### DE FILTRO HUMEDO.

Un mejor funcionamiento se obtiene cuando se instalan elementos filtrantes o superficies de contacto mojadas por medio de aspersores de baja presion, facilitando el contacto gas liquido. Los elementos de contacto pueden ser paquetes de fibra o laminas corrugadas, se usan para particulas de 20 a 50 um.

#### TORRES EMPACADAS:

Las torres empacadas se usan desde hace mucho tiempo en procesos de absorcion y se basan en hacer pasar los gases contaminados a traves de un paquete de elementos de contacto (anillos rashing o similares), en los que se obtiene una superficie de contacto ampliada, se usan para condiciones semejantes a las de filtro humedo.

#### VENTURI

En los colectores venturi la alta eficiencia se logra fragmentando el agua al hacerla pasar por una garganta o estrechamiento del ducto, en contacto con agua sin presion. La finura de la fragmentacion del agua depende de la velocidad de los gases, y esta a su vez de la energia que se les aplique. Los rangos de operacion son los siguientes:

---

TIPO	PRESION ESTATICA (mm CA)	TAMANO PARTICULA (um)
BAJA PRESION	De 100 a 200	10 o mayores
MEDIA PRESION	De 201 a 300	3 o mayores
ALTA PRESION	Mayor de 300	0.5 o mayores

5.4.3.7

#### PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

Algunas aplicaciones de este tipo de colector permiten el uso de agua para limpiar los electrodos colectores y obtener mejor eficiencia de captacion con menor voltaje y consumo de energia.

## INTRODUCCION AL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR RUIDO

### DEFINICIONES:

#### BANDA DE FRECUENCIAS:

Intervalo de frecuencia en donde se presentan componentes preponderantes de ruido.

#### FUENTE EMISORA:

Toda causa capaz de emitir al ambiente ruido contaminante.

#### BEL:

Indice empleado en la cuantificación de la diferencia - de los logaritmos decimales de dos cantidades cualesquiera.

#### CICLO:

Cada uno de los movimientos repetitivos de una vibración simple.

#### DECIBEL:

Decima parte de un Bel; su simbolo es "dB"

#### DECIBEL "A":

Decibel medido con la malla de ponderación "A"; con lo que se pretende tener un registro similar al del oído humano; su simbolo es dB(A).

#### FRECUENCIA:

El numero de ciclos por unidad de tiempo de un tono puro; su unidad es el Hertz, cuyo simbolo es Hz.

#### NIVEL DE PRESION ACUSTICA:

Es la relación entre la presión acústica de un sonido - cualquiera y una presión acústica de referencia. Equivale a diez veces el logaritmo decimal del cociente de -- los cuadrados de la presión acústica de que se trata y la de referencia que es de 20 micropascales. Se expresa en "dB re 20mPa".

## EL RUIDO Y LA CONSERVACION DE LA AUDICION

La pérdida de la audición constituye una desgracia que ha afectado a la especie humana a lo largo de su historia, que se manifiesta en todos los sectores y puede ser ocasionada por las causas más diversas; hasta la reciente aparición del audiómetro no existía medio alguno de determinar con exactitud el grado de disminución de la capacidad auditiva. Actualmente, sin embargo, la pérdida parcial del oído se puede medir con ayuda de instrumentos que se pueden adquirir en el mercado.

**EL RUIDO.**- La descripción física completa de un sonido determinado no puede anticipar si a nosotros, individualmente, nos gustará o no. Si el sonido no nos gusta, este sonido es un ruido. De hecho, el ruido puede definirse en dos palabras: Sonido indeseable. Sin embargo, este concepto aparentemente sencillo disimula muchas sutilezas imprevistas. En efecto, un determinado sonido podrá constituir música para una persona y ruido para otra; podrá ser agradable si es poco intenso, pero ruido si es intenso. Podrá ser acaso aceptable durante un breve tiempo, pero será ruido si se prolonga; intrigante es si es rítmico, pero ruido si es repetido el azar, o bien razonable, si lo hacemos nosotros, pero ruido si lo hace algún otro. De todos atributos que distinguen entre un sonido deseado y otro desagradable, de que por regla general consideramos como el más significativo es la intensidad.

Existen muchas pruebas de que la exposición a sonidos intensos es perjudicial de modos diversos, y a la mayoría de la gente no les gusta ser perjudicados por consiguiente cuanto más intenso es un sonido, tanto más probable es que se le considere como ruido (con algunas excepciones en las discotecas).

**Algunas de las características del ruido son:**

La intensidad (ó presión), la frecuencia y la duración. Todos estos factores revisten importancia en la evaluación de los efectos del ruido en el oído humano. Cuanto más elevado es el ruido, mayor es la intensidad; así mismo, los ruidos de alta frecuencia son más nocivos al oído que los de baja frecuencia y cuanto más prolongada es la exposición al ruido, más pronunciado será el daño producido al aparato auditivo humano.

Al examinar minuciosamente estas propiedades, identificaremos enseguida los métodos de control de ruidos y de preservación de la audición.



La intensidad sonora está sujeta a la ley de la proporción inversa al cuadrado, o lo que es igual, a medida que aumenta la distancia al foco emisor, la intensidad del sonido disminuye en razón inversa al cuadrado de la distancia. Las ondas sonoras de alta frecuencia se absorben mejor por los materiales de consistencia fibrosa o esponjosa que se emplean en la construcción. Por último, el objetivo de proteger la audición de las personas se logra mediante la limitación del tiempo de la exposición al ruido.

## EL DECIBELIO

El oído es un órgano extraordinario, sensible a presiones sonoras desde 0.0002 hasta 2.000 dinas por centímetro cuadrado. Para evitar tener que trabajar con cifras excesivamente altas al evaluar la intensidad del ruido se emplea una escala logarítmica basada en el decibelio como la unidad de medida (deci que significa diez, o sea una referencia a la base de los logaritmos comunes, y bel, de Alexander Graham Bell). Puesto que los decibelios son unidades logarítmicas no es posible sumarlos o restarlos arítmicamente. De hecho, si se duplica la intensidad de un sonido, su valor en decibelios no se duplicará; sino que aumentará únicamente en tres unidades. Si una máquina produce una exposición a 90dB., al instalar junto a ella otra máquina idéntica a la misma, la exposición pasará a 93dB. no a 180dB.

En la escala decibélica, el valor 0 constituye la frontera de lo audible y el valor 120 es el umbral del dolor.

## EFFECTOS DE RUIDOS SOBRE EL HOMBRE

Los efectos del ruido sobre el ser humano son de tres tipos:

- **EFFECTOS PSICOLOGICOS.**- El ruido puede molestar, crear inquietud ó nerviosismo o interrumpir el proceso de concentración ó el sueño.
- **INTERFERENCIA EN LA COMUNICACION A TRAVES DE LA PALABRA.**- Y como consecuencia, afecta al rendimiento en el trabajo y a la seguridad.
- **EFFECTOS FISIOLÓGICOS.**- Pérdida de la capacidad auditiva, dolor de oídos, náuseas y disminución de la capacidad de control muscular (cuando la exposición es intensa).

- **OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD.**- Según sabemos el organismo vivo, como por ejemplo, el ser humano es un sistema muy complicado y los efectos de tensión o trastorno siguen caminos muy intrincados que a veces resultan difíciles de descubrir. En efecto, muchos investigadores creen que la pérdida del oído no es la consecuencia más grave del ruido excesivo. Los primeros efectos son reacciones de ansiedad y tensión ó en casos extremos, de miedo. Estas reacciones suelen acompañar un cambio en el contenido de hormonas de la sangre, lo que a su vez, produce cambios en el organismo, tales como velocidad aumentada del corazón, constricción de los vasos sanguíneos, espasmos digestivos y dilatación de las pupilas de los ojos. Resulta difícil apreciar que los efectos a largo plazo de semejante sobreestimulación, pero sabemos que, en los animales daña el corazón, el cerebro, el hígado, y produce trastornos emocionales. Los efectos emocionales sobre la gente son, por supuesto, difíciles también de medir. Pero sabemos, con todo, que la eficiencia del trabajo disminuye al aumentar el sonido.

#### **CONTROL DE RUIDOS**

Todo problema de ruidos puede descomponerse en tres partes:

- a.- Un foco que irradia energía sonora.
- b.- Una vía a través de la cual se propaga la energía sonora.
- c.- Un receptor como, por ejemplo, el oído humano.

- El control de los ruidos en su fuente constituye un problema de ingeniería que supone la modificación o rediseño de foco emisor.
- La reducción del nivel de ruidos a lo largo de la vía de propagación se puede lograr de muchas maneras: protegiendo o cubriendo el foco emisor, aumentando la distancia entre éste y el receptor, o colocando algún elemento aislante que los separe.
- El control de ruidos en el propio receptor -si este es humano- se puede lograr de modo efectivo de diversas maneras. Algunos de los métodos más prácticos consisten en: colocar el receptor dentro de una cámara aislante, el empleo de protectores auditivos, y la limitación del tiempo de exposición.

El método de los sistemas, aplicado al análisis y control del ruido, contribuirá a la mejor comprensión, tanto del problema en sí como de los cambios que serán necesarios para lograr una efectiva reducción del ruido. Si colocamos cada una de las partes integrantes del sistema -vía y receptor- dentro de su propia perspectiva, el problema global se verá muy simplificado. Expresando estos principios generales en términos concretos, los casos que siguen constituyen ejemplos específicos del control de la exposición a los ruidos de origen industrial.

**AISLAMIENTO DEL TRABAJADOR.-** En aquellos casos en que hay un número reducido de operadores y el proceso es de naturaleza tal que resulta posibles circunscribir las operaciones en un área limitada, el aislamiento de los trabajadores en un recinto con tratamiento acústico proporciona un control realmente efectivo. Este método se ha puesto en práctica en plantas químicas, eléctricas y metalúrgicas, habiéndose obtenido unos resultados en términos de reducción de ruidos dentro de los recintos aislados, de hasta 30 decibelios.

**AISLAMIENTOS DE LAS MAQUINAS.-** Las máquinas que descansan directamente en suelos y paredes transmiten vibraciones a estos elementos que, a su vez, provocan radiaciones sonoras. El empleo adecuado de soportes para el montaje de maquinaria contribuye al aislamiento de esta y a la reducción de niveles de transmisión de vibraciones.

**CONTROL DE RUIDOS POR ABSORCION.-** El ruido emitido por un foco se propaga en todas direcciones; Cuando las ondas sonoras chocan contra los muros o contra otras máquinas, se reflejan; por lo tanto, el valor total de la exposición del ruido dentro del local será igual a la suma del ruido directo y al reflejado. El revestimiento de los muros con materiales capaces de absorber el ruido, contribuirá a reducir el nivel de exposición dentro del local. Sin embargo, este método posee una aplicación industrial limitada ya que el material absorbente carece de efecto alguno sobre el ruido que emana directamente del foco anterior.

~~SUBSTITUCION DE LA MAQUINAS POR MODELOS MENOS RUIDOSOS.~~ - El campo de aplicación de este procedimiento de control de ruidos puede resultar limitado. Existen, no obstante, ciertos campos en los que la sustitución puede resultar factible. Entre estos podemos citar: Los equipos de inserción a presión como sustituto de los martinets, la soldadura en lugar de los remaches y el empleo de productos químicos para el abrillantamiento de metales en lugar de los métodos mecánicos de pulido y bruñido a alta velocidad.

**REDUCCION DEL TIEMPO DE EXPOSICION.** - La experiencia ha demostrado que al limitarse el tiempo de exposición disminuye la peligrosidad del ruido. Este principio queda ilustrado en el esquema de los llamados valores límites.

Otro método que debiera tomarse en cuenta para un control de ruido es la protección personal contra el mismo, esto dependerá de las condiciones que se necesiten en el lugar donde se encuentra el foco emisor.

Un ejemplo reciente acerca de la exposición de la gente a la música de rock proviene de el hecho de que dicha música es efectivamente, a menudo, muy fuerte. La preocupación es que se han registrado en algunas discotecas niveles de sonido de 125 decibeles. Semejante ruido se sitúa en los límites de la percepción dolorosa y es indiscutiblemente ensordecedor. Sería análogo escuchar música ensordecedora y mirar fijamente al sol lo que produce ceguera.

## R E S U M E N

**EL RUIDO.**— Es un problema cada vez más grave en la sociedad industrial.

Está formado por ondas acústicas que se propagan a través de cualquier medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso.

La unidad de medición del ruido es el decibel (dB).

La velocidad del ruido depende de la temperatura del medio que atraviesa.

Velocidad en el aire a temperatura ambiente = 340 m./seg.

en el agua dulce	=	1410 m./seg.
en el agua de mar	=	1545 m./seg.

La velocidad de las ondas es variable, esta variación se llama frecuencia (Hz). El oído humano capta desde 20Hz hasta 20,000 Hz.

Infrasonido < 20 Hz

Ultrasonido > 20,000 Hz

El ruido se amortigua según su recorrido.

**Técnica para disminuir el sonido:**

- Disminuir el ruido de la fuente sonora
- Reforzar aislamiento de las paredes, fachadas (ventanas).
- Usar normas antirruído
- Aislar los equipos ruidosos
- Uso de tapones en las orejas

En la escala siguiente, se presenta el nivel sonoro aproximado de sonidos típicos en escala de "db".



## RECUPERACION DE VAPORES POR REFRIGERACION EN TERMINALES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS Y SOLVENTES RELATIVOS

### I. PRÉFACIO.

Por muchos años la refrigeración ha sido uno de los principales recursos para recuperar vapores de hidrocarburos o solventes, en terminales de carga de gasolina, diesel y aromáticos; cientos de equipos de recuperación de vapores de hidrocarburos basados en el principio de refrigeración de los mismos han sido instalados en terminales para combustibles, donde ésta se carga en vehículos para su reparto o para su almacenamiento en grandes cantidades en tanques. La reseña que presentamos enseguida propone la utilización de estos equipos.

### II. INTRODUCCION.

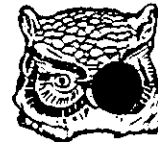
La popularidad actual de los equipos de recuperación de vapores a base del principio de refrigeración se puede resumir en las siguientes características:

- A. Costo de adquisición relativamente bajo.
- B. Poco consumo de energía.
- C. Muy poco mantenimiento.
- D. El personal de mantenimiento está disponible.
- E. Seguridad inherente.
- F. Facilidad para evaluar su comportamiento.
- G. La caída de presiones es mínima en todas las líneas del equipo.
- H. El producto se presenta en estado líquido para su inmediata distribución, venta o medición.

Esta característica es de particular interés para los operadores de la terminal quienes no solamente proporcionan el servicio de almacenamiento y transportación sino también proporcionan servicio de recuperación de vapores por refrigeración. Los equipos de recuperación de vapores han suministrado este servicio de recuperar vapores de hidrocarburos y la mayoría de los clientes cuentan con estos equipos en sus terminales de carga o almacenamiento, porque el producto recuperado al encontrarse en estado líquido puede medirse y está disponible inmediatamente para ser retornado a los tanques con precisión razonable.

### III. APLICACIONES.

En la operación de una terminal, los vapores de hidrocarburos que se introducen al equipo de recuperación en forma de un chorro continuo pueden contener cualquier número de vapores de hidrocarburos y solventes mezclados, la refrigeración/condensación tiene grandes ventajas al no depender de un material absorbente, esta característica excluye cualquier posibilidad de reacciones químicas peligrosas indeseables que puedan tener lugar.



Si recomendamos un equipo de condensación a un cliente potencial, lo primero que debemos conocer es con qué medios se introduce a la unidad recuperadora y si existe suficiente refrigeración y se proporciona una capacidad adecuada de transferencia de calor para ser introducida al equipo recuperador ya que esto promete operación sencilla y un mantenimiento eficaz del equipo.

Para que podamos recomendar el equipo apropiado debemos contar con la siguiente información.

- 1.- Los componentes de vapor.
- 2.- La concentración de los mismos componentes.
- 3.- El volumen del vapor ya sea PCM, GPM o libras/hora.
- 4.- Temperatura de entrada.
- 5.- Recuperación deseada.
- 6.- Horas de operación.

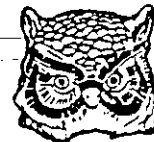
Los vapores se recuperan en forma líquida y si el vapor de entrada contiene más de un condensable, el líquido contendrá la misma mezcla de componentes. Si los vapores que entran al equipo recuperador tienen varios componentes pero en cantidades mínimas; los líquidos resultantes pueden separarse. En cualquiera de los casos dichos líquidos, si no son susceptibles de mezclarse con agua, pueden ser separados por gravedad y el producto libre del agua puede bombearse de retorno al tanque de almacenamiento; en caso de que los líquidos sean susceptibles de mezclarse con agua, la mezcla deberá separarse por destilación o decantación.

Existen dos aplicaciones primordiales para los equipos de recuperación de vapores en terminales de carga o almacenes, una es recuperando los vapores que escapan por las ventilas de camiones, carros tanque de ferrocarril o barcos, cuando están siendo cargados; y la segunda es recuperando los vapores, que se escapan durante el llenado en los grandes tanques de almacenamiento por los respiraderos que se encuentran en las cubiertas de los mismos y que en ese momento no están siendo utilizados.

PRINCIPIO DE OPERACION PARA REFRIGERACION DE VAPORES DURANTE LA CARGA EN PIPAS O CARROS TANQUE Y BARCOS.

## A: Condensación Directa.

Los equipos recuperadores de vapor que se basan en refrigeración son muy sencillos de operar. Para recuperar; los vapores son pasados a través de serpentines aletados a baja temperatura provocando que los vapores sean condensados y pasen al estado líquido, como los vapores son condensados sobre superficies metálicas, los líquidos recuperados no se contaminan en ningún momento con materiales orgánicos extraños; sean éstos sólidos o líquidos.



## B. Tuberías de Recolección de Vapores.

Un sistema de tuberías de recolección de vapores conduce a dichos vapores desde el transporte; sea pipa, carro tanque o barco hasta el equipo recuperador de vapores. El llenado de los transportes con combustible líquido fuerza a los vapores a que salgan fuera y proporciona la fuerza motriz necesaria para conducir los vapores a través de las tuberías, hasta llegar al equipo recuperador. La presión que se requiere para forzar los vapores a que pasen a través del sistema de refrigeración del equipo es muy pequeña: Se encuentra en el orden de 1/16" a 1/4" de columna de agua. La caída de presión debe ser muy pequeña de tal forma que las fugas de vapores que puedan existir en sellos y empaques debe ser mínima.

Si la presión de retorno de la unidad de recuperación es alta (6" o más de columna de agua), esto indica que pueden fugarse más vapores fuera de las pipas, mismo que podría procesarse por la unidad recuperadora.

## C. Pre-enfriamiento.

Los vapores; una vez que han entrado en el aparato recuperador; primero pasan a través de un serpentín pre-enfriador formado por tubos aletados y una solución de agua y glicol con propiedades de enfriamiento pasa a través del serpentín en sentido contrario al flujo de los vapores. El propósito de los serpentines enfriadores es reducir la temperatura lo más próximo a 0°C sin causar la formación de escarcha. En efecto, el pre-enfriador elimina el exceso de humedad tanto como sea posible antes de que estos pasen a través de los serpentines de condensación a baja temperatura donde se forman los hidrocarburos.

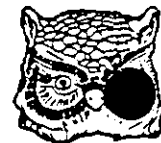
El sistema de refrigeración del pre-enfriador consiste de una mezcla normal de agua y glicol la cual está programada para enfriar a casi 0°C. El sistema de refrigeración del pre-enfriador opera de la misma manera que un sistema de etapa sencilla R22 equipado ya sea con un enfriador de aire o con un condensador enfriado por agua; este sistema reduce los costos de energía ya que elimina la formación subsecuente de hidratos y normaliza la condición de los vapores que entran a los condensadores de baja temperatura.

## D. Condensación de Vapores.

Después que los vapores pasan por el enfriador; son conducidos a los serpentines de baja temperatura, y en las superficies aletadas de éstos se forman hidratos. Estos hidratos pueden contener de un 50% a 80% de hidrocarburos.

Los serpentines están contruídos para acumular la formación de una considerable columna de hidratos sin afectar seriamente la relación de transferencia de calor del sistema o incrementar la caída de presión. Una vez cada 24 horas los serpentines de baja temperatura pueden ser puestos fuera de servicio para descongelarlos y retirar la formación de hidratos; así mismo los serpentines pueden contruírse formando dos mitades independientes, de modo





que cada sección puede descongelarse mientras la otra se encuentra funcionando de este modo el equipo puede funcionar continuamente, eliminando las paradas al tener que descongelar los serpentines de baja temperatura.

En una operación normal los hidrocarburos condensados que se forman en los serpentines de baja temperatura fluyen hacia la vasija colectora que se encuentra debajo de ellos; del colector, los condensados pasan al decantador y ya en éste el producto recuperado pasa a la cámara de recolección de recuperados y de ahí se bombea al tanque de almacenamiento el cual es controlado por interruptores de flotación. Se proporciona también una cámara separadora para la colección de agua, la cual es drenada a un depósito de residuos.

## PRINCIPIO DE OPERACION PARA RECUPERACION EN TANQUES

### A. Condensación Directa.

Este proceso es el mismo que se aplica para pipas, barcos y carros tanque en donde los vapores han pasado a través de serpentines fríos aletados, provocando que los vapores se condensen y pasen al estado líquido.

### B. Tuberías de Recolección de Vapor.

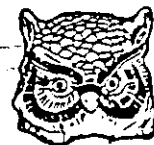
Si se cuenta con un solo tanque la proposición más sencilla y económica es montar en la ventila un serpentín para condensados y montar el equipo de refrigeración lo más próximo al tanque y al nivel del piso.

Los vapores condensados pueden de este modo drenarse por gravedad y regresarse al tanque.

Si existen varios tanques y el líquido que se almacena es el mismo en todos, es más económico instalar tuberías desde las ventilas de los tanques y conducir los vapores a un sistema de recuperación común; del cual los condensados son bombeados en forma líquida a un depósito común.

Si tenemos varios tanques pero los líquidos que contienen son diferentes, es deseable buscar que los condensados sean ligeros; por tal motivo la mejor medida consiste en montar un serpentín de condensación en la ventila de cada tanque, estos serpentines de condensación para ventilas se suministran con fluído para transferir calor o frío a un sistema de refrigeración y control.

En cualquiera de los casos mencionados arriba, cuando la construcción de los tanques excluye el montaje de serpentines para ventilas en los mismos, dichos serpentines pueden montarse a nivel del piso y los condensados bombearse de regreso al tanque.



## C. Condensación de Vapores.

Aquéllos tanques de almacenamiento que se encuentran abiertos a la atmósfera contienen humedad en el vapor de hidrocarburos y por este motivo se formarán hidratos en el serpentín de condensación de ventila. Estos hidratos cuando se descongelan pueden retornarse al tanque de almacén lo cual no es deseable. De utilizarse un sistema de prevención de humedad a base de nitrógeno (dehidratador); éste impedirá que el aire y la humedad penetren y se mezclen con los vapores de hidrocarburos y quedará eliminado el problema del retorno de condensados de agua al tanque de almacén y así mismo eliminará la necesidad de colocar un sistema descarchador, lo cual a su vez reduce el costo de la inversión del equipo recuperador.

## IV. NECESIDADES DE REFRIGERACION.

La temperatura requerida para recuperar de 90 a 95% del vapor de hidrocarburos, depende en primer lugar del tipo de vapor involucrado; la mayoría de los hidrocarburos clorinados pueden recuperarse con un 95% de eficiencia refrigerándolos a temperaturas de  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $-23^{\circ}\text{C}$ . Los hidrocarburos de bajo punto de ebullición tales como IPA, Acetonas y Hexanos requieren temperaturas más bajas que van de  $-34^{\circ}\text{C}$  a  $-46^{\circ}\text{C}$  y la recuperación de vapores de gasolina requiere de temperaturas que van de  $-73^{\circ}\text{C}$  a  $-85^{\circ}\text{C}$ .

Los rangos típicos de trabajo para los sistemas de refrigeración se describen a continuación.

### EDWARDS ENGINEERING CORPORATION

#### Equipos de Etapa Sencilla

Tipo R-22 +  $10^{\circ}\text{C}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$   
R-502 -  $12^{\circ}\text{C}$  a  $-51^{\circ}\text{C}$

#### Equipos Tipo Cascada

Tipo R-22/R-13 -  $23^{\circ}\text{C}$  a  $-57^{\circ}\text{C}$   
R-502/R-503 -  $57^{\circ}\text{C}$  a  $-93^{\circ}\text{C}$   
R-502/R-503/14 -  $85^{\circ}\text{C}$  a  $-123^{\circ}\text{C}$

Todos los equipos de refrigeración descritos están disponibles para recuperar vapores en cualquier combinación de ellos y para todas las aplicaciones.

Estos equipos se pueden combinar para usarse en enfriamiento de vapores por etapas.

Inter-Ref, S.A. de C.V. le proporciona información, consulta, cotización o venta de estos equipos, consúltennos.



## C U E S T I O N A R I O

### SISTEMAS RECUPERADORES DE VAPORES DE HIDROCARBUROS

Gracias por el interés que han mostrado por el Método Edwards de Recuperación de Vapores de Hidrocarburos.

Hemos diseñado y construido equipos que pueden recuperar vapores condensables de hidrocarburos por medio del uso de alta tecnología en refrigeración. Para aprender más acerca de como esta tecnología puede beneficiarle le pedimos que por favor revise sus requerimientos específicos sobre recuperación de vapor y sin ninguna obligación de su parte, nosotros le haremos una recomendación para sus necesidades.

REPRESENTANTE: \_\_\_\_\_

CLIENTE: \_\_\_\_\_

DIRECCION: \_\_\_\_\_

LOCALIZACION DE LA TERMINAL: \_\_\_\_\_

TIPO DE TERMINAL: PIPAS \_\_\_\_\_ FERROCARRIL \_\_\_\_\_ BARCO \_\_\_\_\_

OTROS \_\_\_\_\_

PRODUCTOS QUE DEBEN BOMBEARSE: \_\_\_\_\_

SISTEMA DE LLENADO: POR ARRIBA \_\_\_\_\_ POR ABAJO \_\_\_\_\_

NUMERO DE MANGUERAS LLENADORAS OPERANDO SIMULTANEAMENTE \_\_\_\_\_

PROMEDIO DE PRESION DEL VAPOR: EN VERANO \_\_\_\_\_ EN INVIERNO \_\_\_\_\_

TEMPERATURA DEL PRODUCTO BOMBEABLE: MAXIMO \_\_\_\_\_ MINIMO \_\_\_\_\_

CAPACIDAD MAXIMA TOTAL DE EMBARQUE DE LA TERMINAL POR MINUTO \_\_\_\_\_ M3

\_\_\_\_\_ LITROS

\_\_\_\_\_ LITROS

MAXIMO GASTO HORARIO \_\_\_\_\_ M3 \_\_\_\_\_ GAL.

MAXIMO GASTO DIARIO \_\_\_\_\_ M3 \_\_\_\_\_ GAL.

PORCENTAJE DE HIDROCARBUROS EN LOS VAPORES DE LAS PIPAS (SI SE CONOCE) \_\_\_\_\_

ENERGIA ELECTRICA DISPONIBLE \_\_\_\_\_ VOLTS C.A. \_\_\_\_\_ FASES \_\_\_\_\_ HERTZ

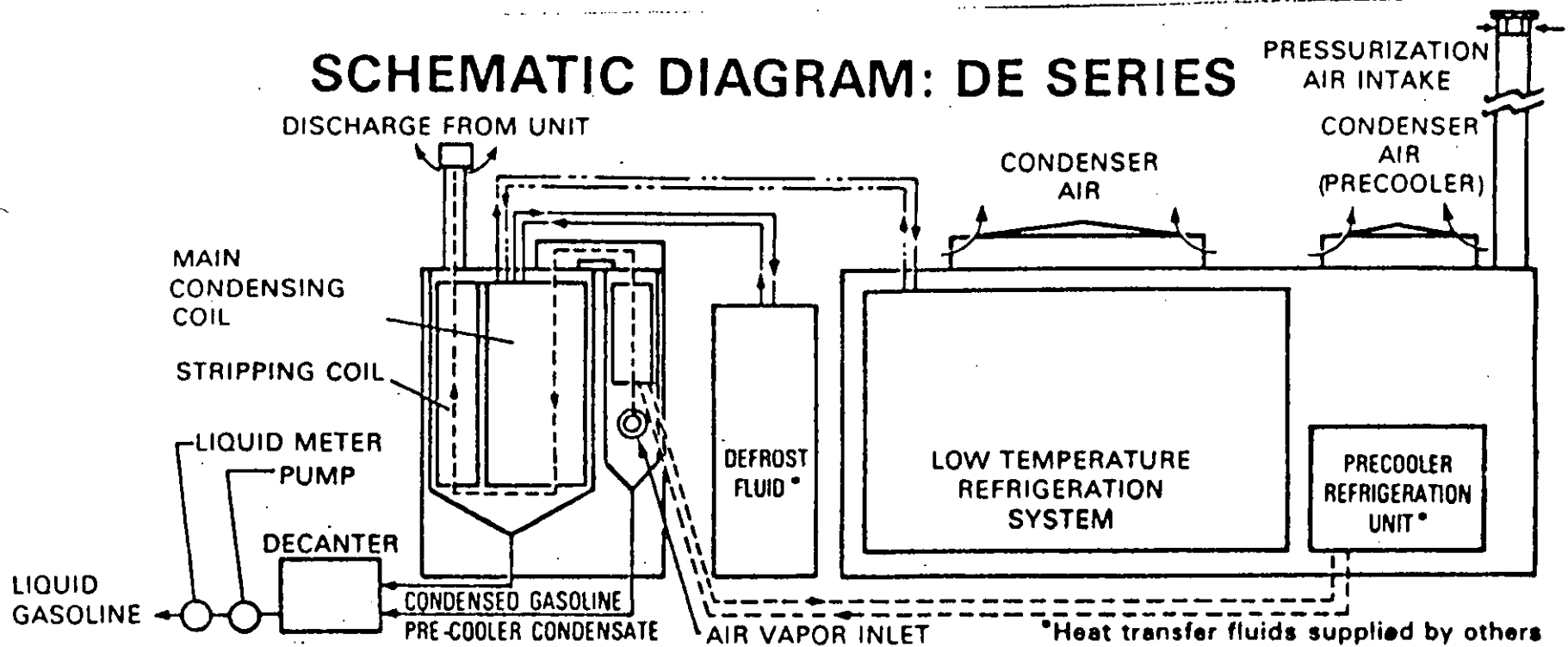
COSTO DE LA ENERGIA POR KW/HR. \_\_\_\_\_

VALOR DE LOS HIDROCARBUROS LIQUIDOS RECUPERADOS \_\_\_\_\_

REGISTRO DE CARGA

<u>HORA</u>	<u>PROMEDIO DE PIPAS CARGANDO</u>	<u>CANTIDAD DE PIPAS CARGANDO AL MISMO TIEMPO</u>	<u>HORA</u>	<u>PROMEDIO DE PIPAS CARGANDO</u>	<u>PROMEDIO DE PIPAS CARGANDO AL MISMO TIEMPO</u>
6-7 am			5-6 pm		
7-8 am			6-7 pm		
8-9 am			7-8 pm		
9-10am			8-9 pm		
10-11am			9-10pm		
11-12am			10-11pm		
12-1 pm			11-12pm		
1-2 pm			12-1 am		
2-3 pm			1-2 am		
3-4 pm			2-3 am		
4-5 pm			3-4 am		

# SCHEMATIC DIAGRAM: DE SERIES



SIMPLE, CLEAN, & SAFE  
Direct Condensation to liquid

**INTER-REF, S.A. de C.V.**

Baldemar 381-403  
16150 Mexico DF  
510-3185/510-3185  
FAX 510-3185

**Vapor Recovery  
Systems**



**EDWARDS**

by

## Recover 99% or Greater of Most Solvents or Hydrocarbons with Edwards Vapor Recovery Packaged Units.

Direct Condensation of Vapors by the Refrigeration Process is the Leading Choice for Vapor Recovery Today:

### BENEFITS

**Simplicity** - Vapors piped directly into the condensing chamber are recovered as liquid condensate without intermediate steps or additional treatments.

**Cleanliness** - Liquid condensation occurs directly on cold metal surfaces and drips into a collecting chamber with no addition of contaminants.

**Safety** - The condensation process is continuous, completely safe, and usually occurs at temperatures far below the flash point.

**Economy** - \* Low Capital and Installation Costs.  
\* Low Maintenance and Operating Costs.  
\* Rapid payback: Sell or reuse recovered liquid.

### THREE SERIES OF EDWARDS VAPOR RECOVERY UNITS

Three groups of Vapor Recovery Units are offered by Edwards to solve various industrial problems: SVR, DE and LN2. With operating temperatures as low as -300-F, almost any optimum or required recovery rate can be achieved to meet state or federal requirements.

#### THE EDWARDS SVR SERIES

Solvent Vapor Recovery for:

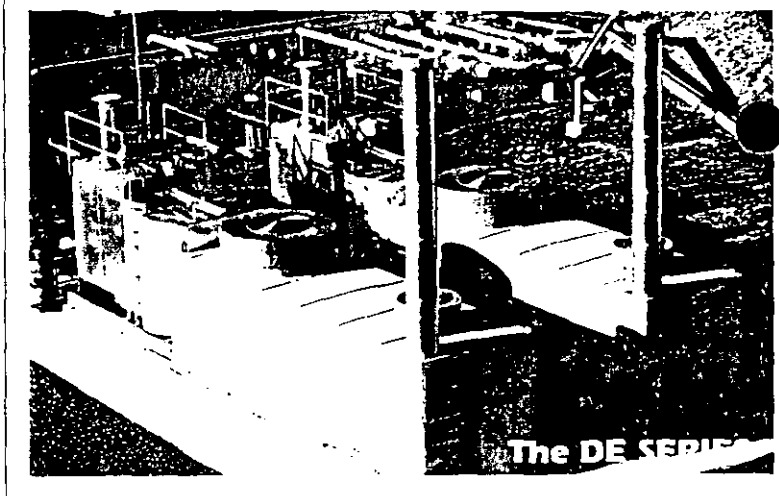
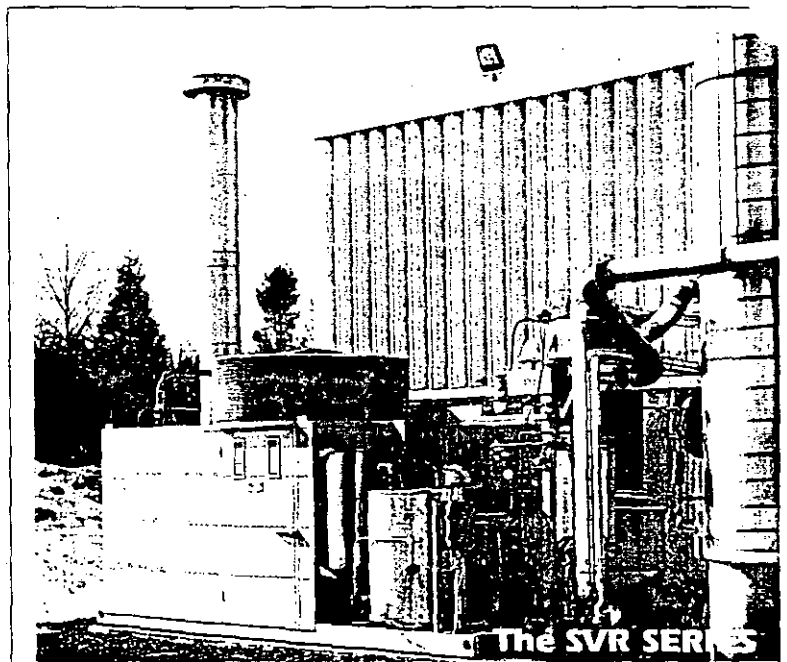
- \* Chemical Processing
- \* Pharmaceutical Processing
- \* General Industrial Applications

Standard factory packaged units recover many common condensable vapors directly to liquid for reuse in processing. Custom design modifications are made readily at the factory upon review of the particular composition of the vapor stream. Units in operation for the past 15 years achieve recovery rates greater than 95%.

#### Closed Loop Vapor Recovery:

Closed loop vapor recovery is attractive when applied to drying towers, ovens and spray dryers. Edwards SVR Series Vapor Recovery Units greatly reduce the energy required to heat the inlet product stream by recovering approximately 70% of the sensible cooling load. This approach has the highest recovery efficiency of any recovery system.

# Direct Condens



#### THE EDWARDS DE SERIES

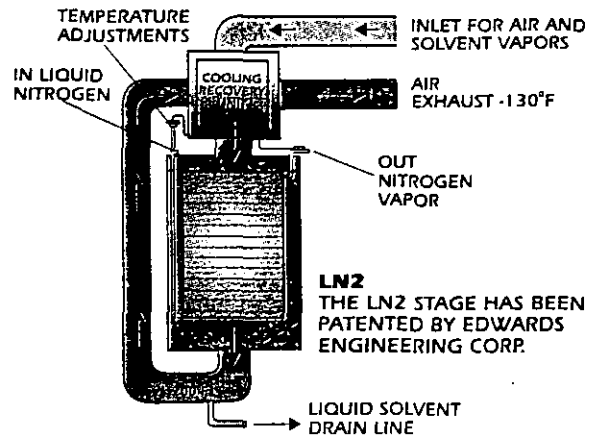
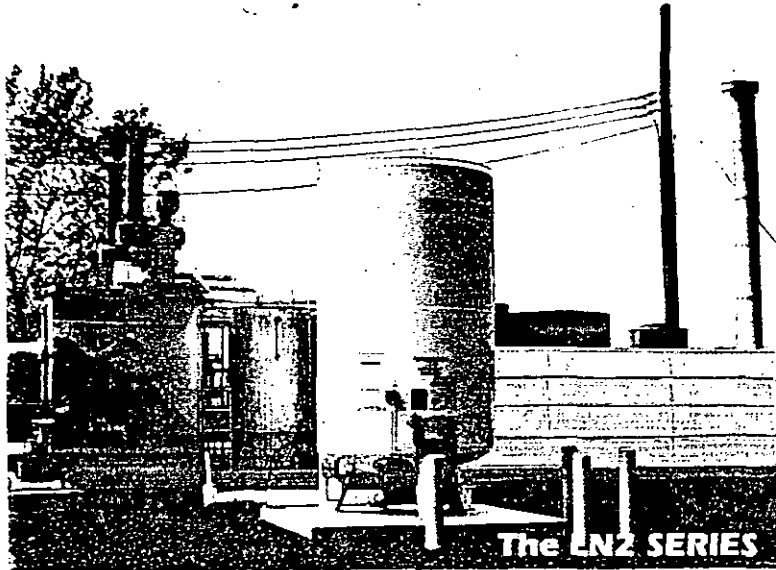
Completely Packaged Vapor Recovery Units for:

- \* Gasoline Bulk Stations
- \* Truck Loading
- \* Storage Tanks
- \* Barges and Tankers

The DE Series has been developed over the past 20 years specifically for the gasoline and hydrocarbon field, and is designed and operated to meet stringent state and federal requirements for vapor recovery. In many cases remarkable short-term capital cost recovery is realized due to the value of the recovered liquid product:

- \* 95% recovery to direct liquid
- \* Recovered liquid hydrocarbons contain little water, and can be sold or reused.

# ation to Liquid



## THE EDWARDS LN2 SERIES

- \* Cool vapors as low as -300°F
- \* Achieve recovery rates of 99% or greater
- \* Meet or exceed the most stringent government vapor recovery requirements

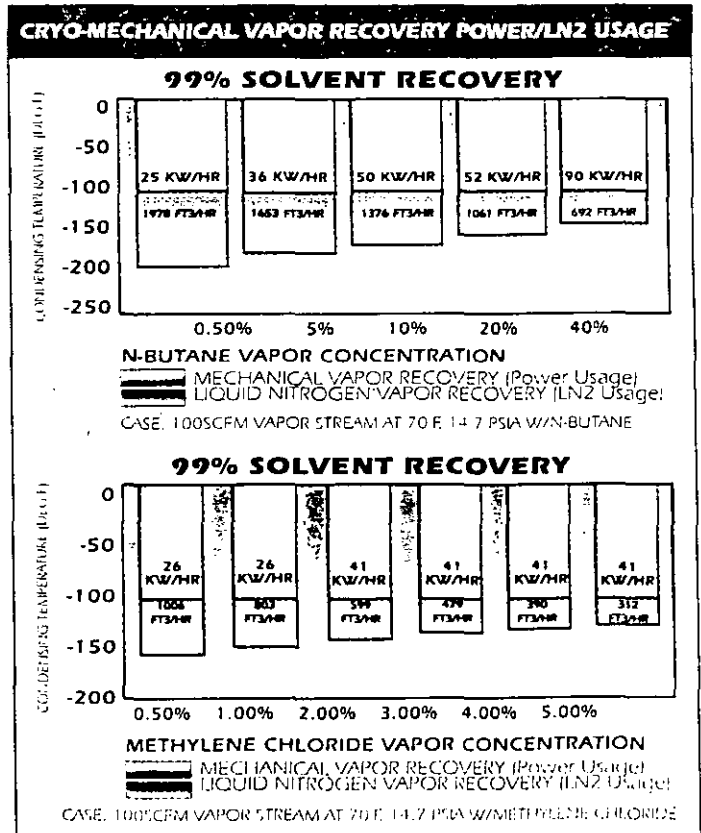
With the assistance and cooperation of Praxair, Inc., North America's largest producer of industrial gases, Edwards now offers enhanced direct condensation vapor recovery using liquid nitrogen.

### 3 Versions Available To Handle Nearly Any Vapor Recovery Application

- \* Stand Alone LN2 - The LN2 unit can function alone as a condensation-based vapor recovery unit, cooling vapors to -300°F and achieving a recovery rate of 95 to 99% or greater. This option is intended primarily for relatively low volume flow rates or for intermittent or infrequent use.
- \* Retrofit LN2 - The LN2 unit can be added as a component to an existing vapor recovery system to achieve higher rates of recovery and to meet stringent code limits.
- \* Cryo-Mechanical - The LN2 unit can be combined with any Edwards mechanical refrigeration vapor recovery unit in a complete factory package. This option is intended for new or replacement installations with high volume flow rates and frequent or continuous process use.

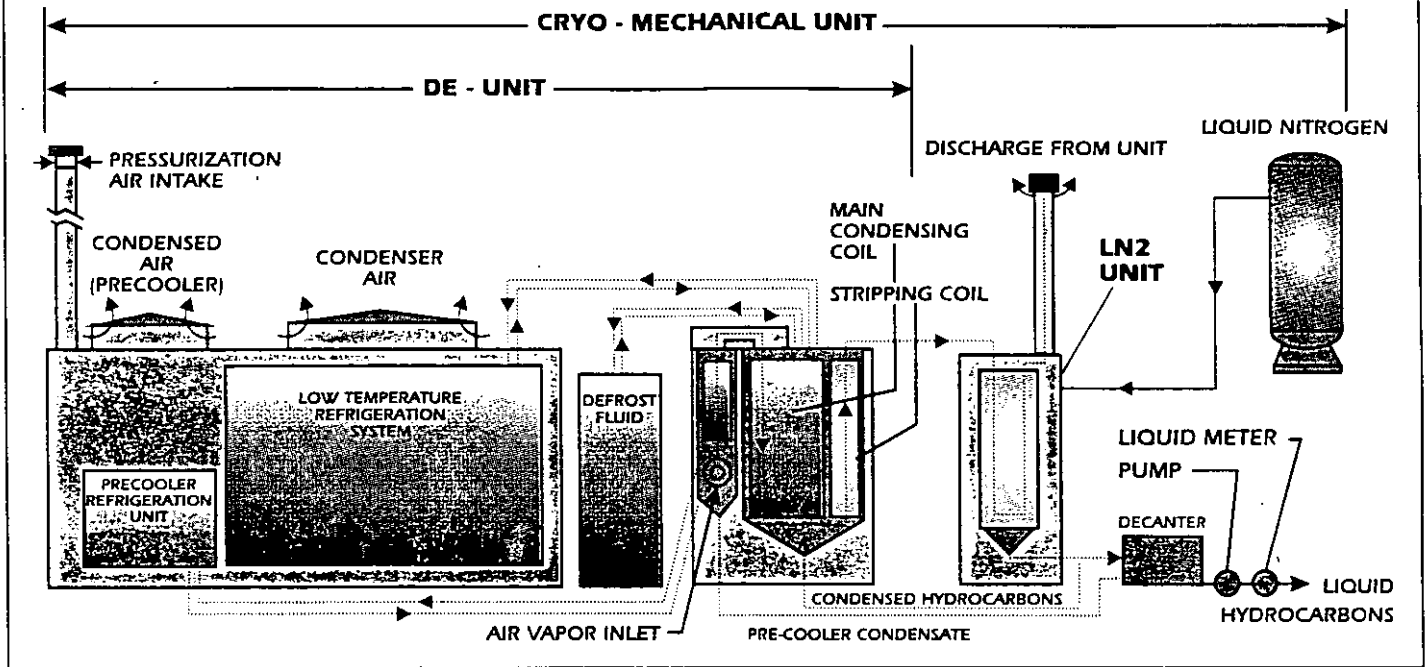
## LOW OPERATING COSTS

The following graphical representations show optimum vapor recovery efficiency when combining the LN2 Series with mechanical refrigeration. Greater vapor recovery rates can more than offset the cost of liquid nitrogen in a typical application.





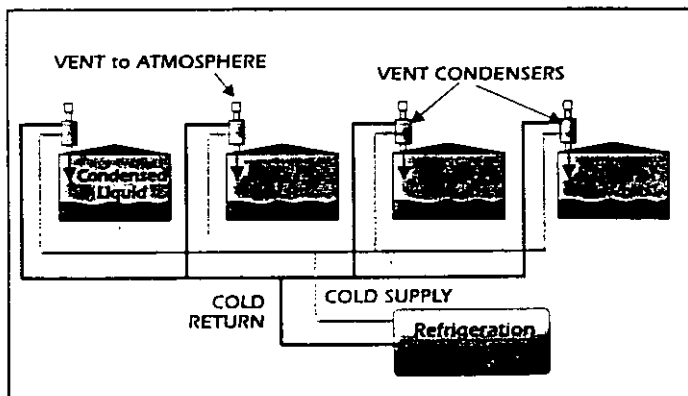
## Schematic: Edwards Vapor Recovery Units



For tank applications, the simplest and most economical approach is to mount a vent condensing coil on the tank and locate the refrigeration equipment on ground level near the tank. In this way the condensed vapors can be gravity-drained back into the tank. In general, 90 to 95% recovery can be attained by cooling these vapors to  $-20^{\circ}\text{F}$ .

For multiple tank applications where the stored liquid is the same in all tanks, it is best to pipe the vent lines to a common recovery system and pump the condensed liquid to a single point.

When the stored liquids are of different types, it is desirable to keep the condensate discrete by mounting a vent condensing coil on each tank. These coils are then supplied with a cold heat transfer fluid from a central refrigeration system.



**PRAXAIR**

Praxair, Inc. is the largest producer of industrial gases in North America. With unparalleled customer support services, Praxair provides bulk liquid supply systems for gaseous or cryogenic use.

### EDWARDS:

#### A Leading Manufacturer of Heat Transfer Products Since 1947

For the past 20 years, Edwards Engineering has been a leader in direct condensation vapor recovery by mechanical refrigeration. With hundreds manufactured and installed, Edwards has offered the petroleum, chemical processing and pharmaceutical industries the opportunity to achieve an optimum degree of vapor recovery using the safest, most effective method possible.



**EDWARDS ENGINEERING CORP.**

Manufacturer of Heating and Cooling Equipment.  
101 Alexander Avenue, Pompton Plains, NJ 07444-0487  
Toll Free 800-526-5201, Telephone in NJ 201-835-2800  
FAX 201-835-3222

**STANDARD FEATURES AND  
AVAILABLE OPTIONS ESTABLISH  
EDWARDS VAPOR RECOVERY  
PACKAGES AS THE LEADING CHOICE**

**Factory Packaged:** All Edwards Vapor Recovery Units are delivered directly to the job-site, factory packaged and skid mounted. Custom modifications can be made at the factory to meet on-site operating needs and performance specifications.

**Walk-In Enclosure:** The refrigeration machinery is located in a weatherproof metal walk-in enclosure, providing ample room for operation, maintenance and service.

**Low Operating Costs/Energy Savings:** Edwards electrically operated vapor recovery packages feature LOW energy consumption per volume of liquid recovered. Units also are designed to recover sensible cooling from the effluent stream, and rejected heat from compressors can be used for defrosting.

**Low Maintenance/Long Life:** Direct condensation of vapors at atmospheric pressure requires no preliminary or intermediate compression or vapor storage. The basic refrigeration system follows conventional circuit design, is easy to maintain, and lasts indefinitely.

**Fully Automatic Operation:** A single panel controls operation from inside the unit, so full-time attendance is not required. Remote operation also is available.

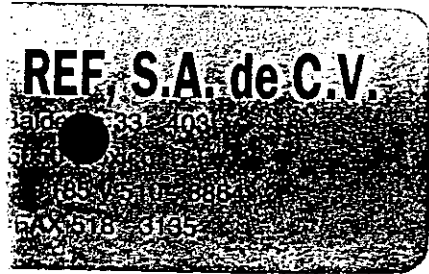
**Direct Meter Record of Liquid Recovery:** An optional direct reading indicator provides a cumulative record of the recovered condensate.

**Recovered Condensate is Reusable:** Simple piping can be used to return the recovered condensate to any convenient location. Condensed water vapor also can be separated from water immiscible solvents and piped to other locations.

**Dual Condensing Coils Available:** Where continuous production, loading or processing operation is desired, this option eliminates the need to shut down equipment for defrosting.

**100% Overload Capacity:** In a refrigeration based unit, the suction pressure of the compressors automatically rises with the load; raising the suction pressure results in increased refrigeration capacity of the unit.

**CLEAN, & SAFE  
condensation to liquid**



**Recovery**  
**IS** by  **EDWARDS**

# SIMPLE, CL

## Direct Conder

### INTER - REF,

Balderas  
06050 Mex  
510 - 1185 y  
FAX 518

# Vapor R

# Systems

## HOW EDWARDS VAPOR RECOVERY UNITS WORK

Vapors enter the condenser where moisture is removed in the initial section of heat exchange tubes with widely spaced fins. This spacing design minimizes pressure drop and blockage due to frosting.

In the next section of the coil with closely spaced fins, vapors are condensed and collected directly as liquid. The design and use of a refrigerant direct expansion condensing coil heat exchanger permits the raising of the refrigeration compressor suction pressure, increasing the capacity of the unit at a constant condensing temperature if needed.

At periodic intervals, defrosting of the finned surfaces may be required; defrosting is accomplished by circulating warm heat transfer fluid, stored in a separate reservoir and the circulation of water processed air. The temperature of the fluid and the air is maintained by heat reclamation from the refrigeration equipment. No shut down time is required for defrosting in the vapor recovery unit if the dual condenser option is utilized.

### Examples of RECOVERABLE VAPORS by The Edwards Complete Series of Vapor Recovery Units

<b>KETONES</b> Acetone Methyl Ethyl Ketone (MEK) Methyl Isobutyl Ketone Cyclohexanone	<b>ETHERS</b> Ethyl Ether Tetrahydrofuran Dioxane
<b>AROMATICS</b> Benzene Toluene Xylene Napthalene	<b>HYDROCARBONS</b> Gasoline Hexane Cyclohexane Heptane Mineral Spirits Hydrocarbon Based Solvents Petroleum Based Solvents
<b>ALCOHOLS</b> Methanol Ethanol Isopropanol	<b>CHLORINATED HYDROCARBONS</b> Methylene Chloride Methyl Chloroform Perchloroethylene
<b>MONOMERS</b> Vinyl Acetate Acrylic Acid Acrylonitrile	<b>ESTERS</b> Vinyl Acetate Ethyl Acetate Isopropyl Acetate

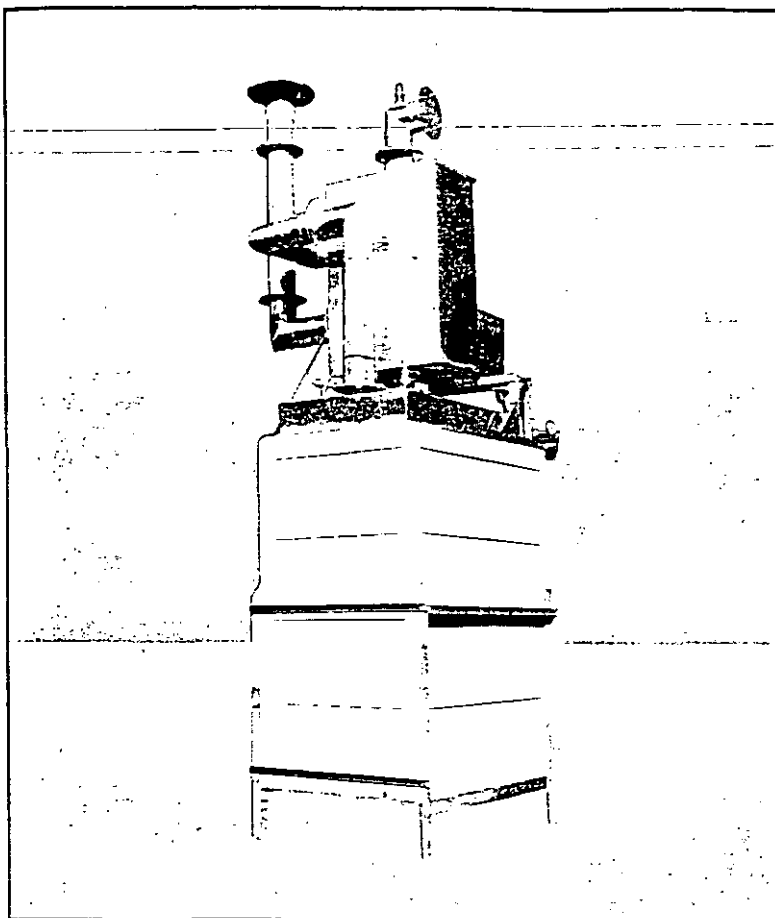
This is a representative sample of the types of vapors recoverable with the Edwards process. It is by no means a complete list.

## Enhanced Vapor Recovery Using Liquid Nitrogen

# THE EDWARDS LN2 Series

### Higher Recovery Rates, Lower Cost

**E**dwards Engineering Corp., in cooperation with Praxair, Inc., Linde Div., now offers an additional line of simple, safe and economical vapor recovery packages using liquid nitrogen. The result of combining Edwards' 20 years of experience in low temperature, direct condensation of vapors with Linde's proven expertise in using liquid nitrogen to solve a wide variety of industrial problems, the LN2 Series is designed for most vapor recovery applications in the pharmaceutical, petroleum, chemical processing, and other industries. By cooling vapors to as low as -300°F with liquid nitrogen, these enhanced vapor recovery packages make it possible to achieve recovery rates that have been unobtainable using mechanical refrigeration alone.



Stand-alone LN2 Unit

Patent Pending

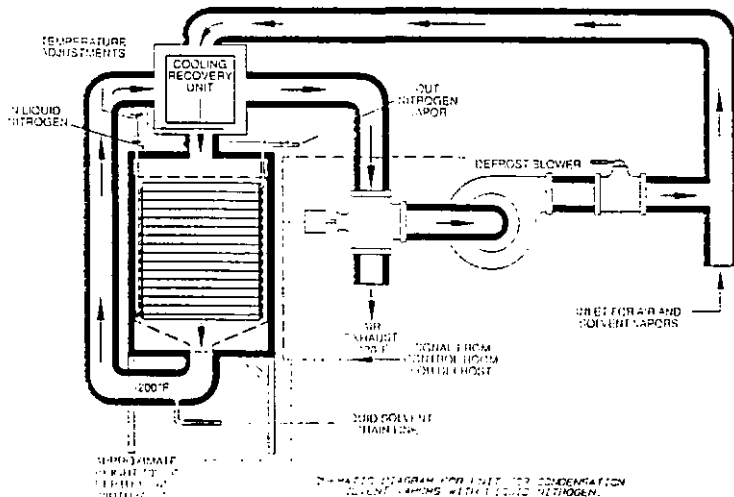
### The EDWARDS LN2 SERIES - Options for nearly any vapor recovery requirement

- ▶ **LN2 Retrofit**—The Edwards Liquid Nitrogen Unit can be added to any existing vapor recovery system to improve recovery efficiency.
- ▶ **Stand-alone LN2 Unit**—The liquid nitrogen unit can function by itself as a condensation-based vapor recovery unit, cooling vapors to -300°F and achieving a recovery rate of 95-99% or greater.
- ▶ **Edwards Cryo-Mechanical Vapor Recovery Units**—Each Edwards mechanical refrigeration vapor recovery unit now can be combined with an LN2 unit in a complete factory package that achieves a 99%+ vapor recovery rate.

### Meets the Most Stringent EPA and State Vapor Recovery Requirements

**The Clean Air Act.** The 1990 Clean Air Act established federal guidelines for VOC (volatile organic compounds) emissions and will require industrial sources that exceed those guidelines to reduce emissions by installing a maximum achievable control technology (MACT). Mechanical refrigeration for vapor recovery has proven to be a safe, economical way to deal with VOC and hydrocarbon emissions and to comply with the Clean Air Act guidelines.

**Regulations Are Getting Tougher.** A typical mechanical refrigeration vapor recovery system cools vapors to -100°F, where up to 95-98% of most vapors are condensed and recovered directly as liquid. However, new regulations are now mandating a vapor recovery rate of at least 99% in many areas. The Edwards LN2 Series makes it possible to meet or exceed these new standards by adding a liquid nitrogen component to super-cool vapors to a maximum of -300°F, thereby achieving a recovery rate of 99% or higher in most instances.

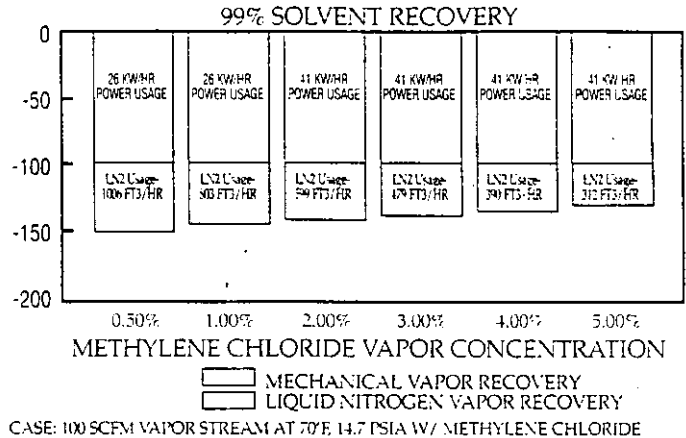
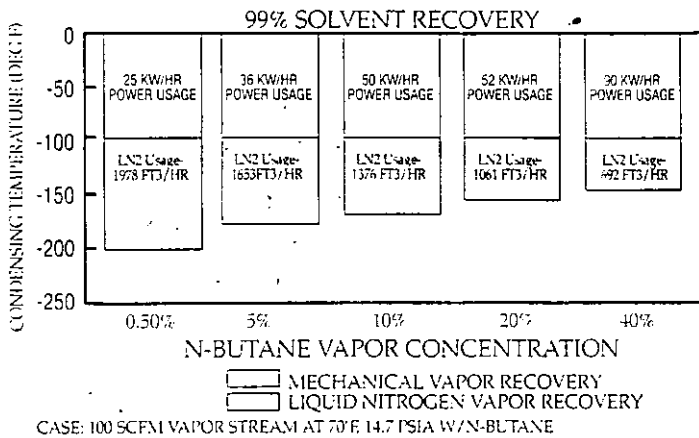


A set of cooling coils super-cools vapors down to -300°F (if required). The liquid nitrogen used for this additional cooling is supplied by a free-standing storage tank maintained and refilled as needed by Linde. Edwards supplies the system design, cooling coils, controls and other hardware. This system is warranted by Edwards Engineering.

## Low Operating Costs

The following graphical representations show optimum vapor recovery efficiency when combining the LN2 Series with mechanical refrigeration. Greater vapor recovery rates can more than offset the cost of liquid nitrogen in a typical application.

### CRYO-MECHANICAL VAPOR RECOVERY POWER/LN2 USAGE



## EDWARDS ENGINEERING AND LINDE

*Joining Forces To Produce The Highest Possible Vapor Recovery Performance*

For the past 20 years, Edwards Engineering has been a leader in direct condensation vapor recovery by mechanical refrigeration. With hundreds of units manufactured and installed, Edwards has offered the petroleum, chemical processing and pharmaceutical industries the opportunity to achieve an optimum degree of vapor recovery using the safest, most effective method possible.

The Linde Division of Praxair, Inc. is the largest producer of industrial gases in North America. Using atmospheric air as its raw material, it "harvests the sky" to produce oxygen, nitrogen and argon for extensive industrial applications. With unparalleled customer support services, Linde provides bulk liquid supply systems for gaseous or cryogenic use.

Linde Division  
39 Old Ridgebury Road  
Danbury, CT 06817  
1-800-521-1737

## Installation

All Edwards LN2 Series vapor recovery units are supplied as skid mounted packages complete with all piping and wiring. The following on-site connections and preparations by the user are required:

- Vapor inlet connection from process vapor outlet
- Condensed vapor/water drain connection
- Single point power connection and defrost timer
- LN2 inlet connection
- A concrete pad (for the Linde liquid nitrogen tank)

Installation can be made by local service personnel, and Edwards will provide startup and service assistance.



**EDWARDS**  
ENGINEERING CORP.

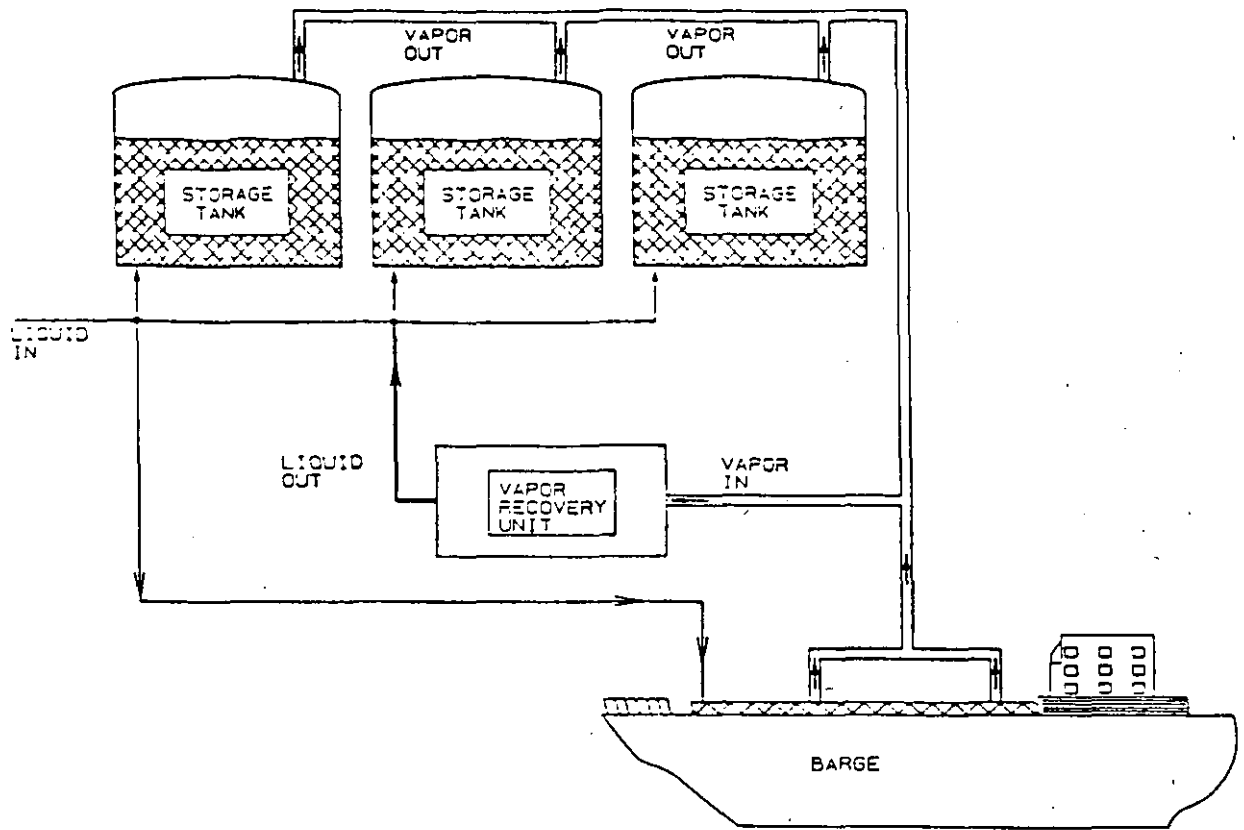
Design & Manufacturing of Heating & Cooling Equipment  
101 Alexander Avenue, Pompton Plains, NJ 07444  
Telephone 800 526-5201  
FAX 201 835-3222

**INTER-REF, S.A. de C.V.**  
Balderas 33-403  
0-050 Mexico DF  
Tel: 52 5 261 086

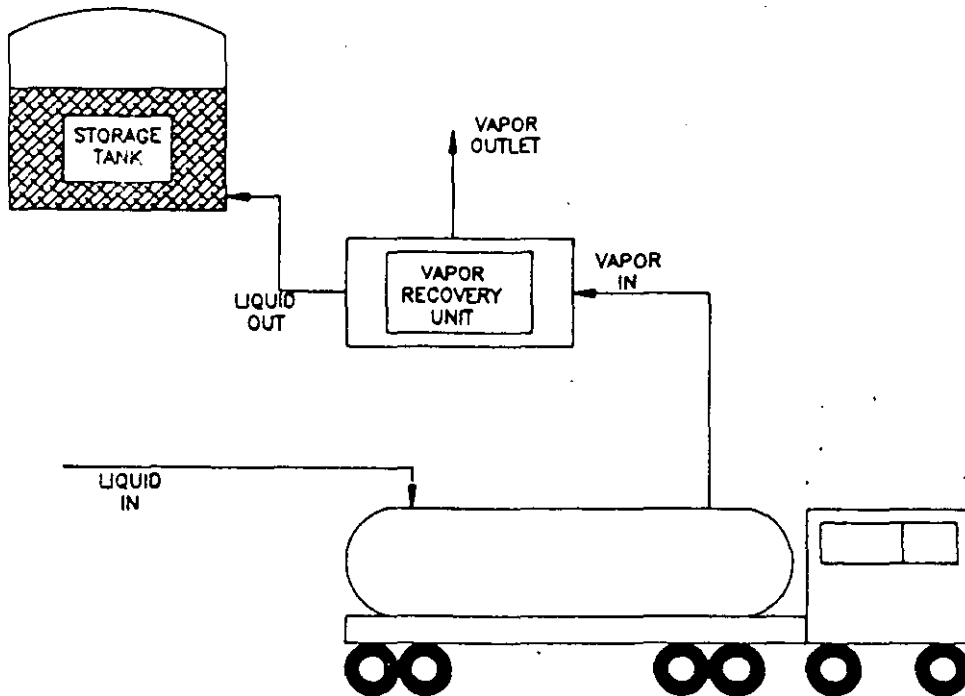
**CONTROL OF HYDROCARBON VAPORS  
BY DIRECT CONDENSATION**

*JUNE 1993*

EDWARDS ENGINEERING CORP.  
101 ALEXANDER AVENUE,  
POMPTON PLAINS, NJ 07444



MARINE LOADING VAPOR RECOVERY



TRUCK LOADING VAPOR RECOVERY

FIGURE 4

**2. MIXERS** - Where materials are blended in rotary type mixers and the heat of mixing evaporates solvent to a vent system.

**3. PAN COATERS** - Where materials are coated with a spray solution and the solvent is evaporated and exhausted to a vent system.

**4. SPRAY DRYERS/GRANULATORS** - Where solvents are used as a carrier for agglomeration of particles and powders and subsequently evaporated and exhausted to atmosphere.

All of the aforementioned processes generally require temperatures from  $-60^{\circ}\text{F}$  to  $-120^{\circ}\text{F}$  to attain 90% to 95% recovery. For higher efficiencies, lower vapor temperatures down to  $-300^{\circ}\text{F}$  may be required which can be obtained using our "Cryo-Mechanical" vapor recovery package.

The reactor vents generally are "one-pass" systems whereby the vapors are exhausted from the reactor, pass through the recovery unit, are cooled, and expelled to the atmosphere. In the mixing, coating, and drying/granulating operations, a more efficient and economical method of recovery is to use a "closed-loop" system. In either case, one important point to consider is the installation of filters so that dust and other particles are not carried over to the condensing coils.

A closed-loop system is best utilized on a batch process type system, but can be adapted to a continuous feed system. The closed-loop system has the advantage of having no emission during operation, which in effect gives a 100% recovery of the solvent. The temperature required can be as warm as desired ( $+35^{\circ}\text{F}$  to  $+60^{\circ}\text{F}$ ) and is only limited by the maximum allowable concentration in the return stream or at the end of the cycle. The only emission occurs when the process is opened to empty and refill, or if there is leakage.

For some processes that are continuous feed or cannot be made vapor tight, a modified closed-loop may be required. In this case a side stream of air and vapor is pulled out of the closed-loop after cooling, so that any leakage will be into the system. The solvent vapor present in this side stream now determines the overall recovery efficiency and the required temperature.

In recommending a condensation unit to a potential user, the primary concern is with what is introduced into the vapor recovery unit so that sufficient refrigeration and heat transfer capacity is provided. This allows for simple straightforward operation and maintenance of the vapor recovery equipment.

**(Fig. 5)**

In order to make the proper recommendation of unit size, the following information is required:

1. The components of the vapor stream.
2. The concentration of the various components.
3. The volume of the stream; cfm, gpm, or lbs./hr.
4. Inlet temperature.
5. Desired recovery.



## 6. Hours of operation.

The vapors are recovered as a liquid. If the inlet stream contains more than one condensable vapor the recovered liquid will contain the same mixture of components. If the vapors entering the vapor recovery unit are discreet the liquids can be kept separate. In either case these liquids, if they are non-miscible with water, can be gravity separated and the water free product can be returned to storage. If these liquids are miscible with water the mixture must be separated by distillation or disposed of.

## IV. TEMPERATURES

The temperatures required to recover 95% or 99% of a given vapor depend primarily on the type of vapor involved. Most chlorinated hydrocarbons encountered in tank breathing can be recovered with a 95% efficiency by cooling to -20°F. Different applications may require lower temperatures such as reactor vent recovery which generally requires temperatures of -60°F to -300°F. Typical working ranges of refrigeration systems are described as follows:

<u>Single Stage</u>	<u>Cascade</u>	<u>Cryo-Mechanical</u>
R-22/HP80 (or equivalent new refrigerants)	HP80/R-23	HP80/R-23/LN <sub>2</sub>
+50°F to -30°F	-10°F to -100°F	+50°F to -300°F

### (Fig. 6)

All of the above refrigerants are available for any combination of vapor recovery effect desired and in many applications, combinations of these can be used to cool the vapor stream in stages. All of the above refrigerants are considered to be environmentally safe.

## V. PRECOOLER

### (Fig. 7)

The precooler refrigeration system consists of a standard glycol-and-water chiller that is set to operate just above 32°F. The precooler refrigeration system operates as a single stage R-22 system equipped with either an air-cooled or water-cooled condenser. The precooler system reduces power costs, minimizes subsequent hydrate formation, and standardizes the condition of the vapors entering the low temperature condensers.

## VI. LOW TEMPERATURE COILS

After leaving the precooler the vapors pass to the low temperature coils. When the vapors first enter the low temperature coils a hydrate is formed on the finned surfaces. The hydrate may contain from 50% to 80% hydrocarbons. The coils are constructed to accommodate the formation of a



an indefinitely long operating life is expected. Large users of refrigerating machines, as in supermarkets, for example, expect twenty years of operation, with occasional replacement of controls as required. The vapor recovery condenser section contains extended surface tubing requiring little or no maintenance.

## **X. MATERIALS OF CONSTRUCTION**

Piping on the refrigerant circuit is usually copper in accordance with ANSI B 31.5. Piping in contact with the condensate is usually copper or 304 stainless steel. The shed enclosure and frame are usually constructed of carbon steel. The coil, vapor box and decanter/receiver are usually aluminum or 304 stainless steel or any other requested material including Hastelloy, titanium, etc.

## **XI. FLEXIBILITY OF DESIGN**

The units are sized for the maximum anticipated load and operate as required to maintain the design temperature in the condensing coils. When no vapor is being processed, the only operation is to maintain the coil temperature and the unit(s) will cycle off. This gives 0-100% turn down ratio.

## **XII. EQUIPMENT**

The present popularity of the refrigeration based vapor recovery machine is based upon the following features:

1. Low Capital Cost - for the proper application.
2. Low Power Cost - Units operate on demand only.
3. Low Maintenance Cost - No scheduled tear down; preventative maintenance and repair only.
4. Availability of Maintenance Personnel - using plant or local refrigeration personnel.
5. Inherent Safety - No possibility of a fire or explosion.
6. Ease of Performance Monitoring - by reading the outlet temperature and correlating with Vapor Pressure Chart.
7. Low Pressure Drop through the unit.
8. Product recovered is in the liquid state ready for immediate distribution, sale or measurement.
9. No additional pollution problem of ash, contaminated carbon to dispose of, or additional water to treat. The processing of ambient air only adds one pound of water condensed per 1,000 cubic feet of air processed.

## **XIII. COSTS**

(Fig. 8)

An example of the utility consumption for a Cryo-Mechanical vapor recovery unit is seen in Fig 8. The power consumption for the Mechanical Vapor Recovery System (cooling vapor to -100°F) and the Liquid Nitrogen consumption for the Cryogenic Vapor Recovery System are noted for varying concentrations of solvent in the vapor stream. Overall recovery efficiency for each system is 99%.

#### XIV. CONCLUSION

In conclusion, it can be said that vapor recovery by direct condensation is the cleanest and in many cases the most energy efficient method of control for hydrocarbons typically encountered in today's vapor recovery applications. Its flexibility in design and broad range of applicable processes will make it the preferred method of control in the 1990s.



Abril 22 de 1994.

## EDWARDS ENGINEERING CORP.

Unidades Recuperadoras de Vapores de Hidrocarburos  
para Autotanques y Tanques de Almacenamiento.

### OFERTA TECNICA

El equipo aqui ofrecido representa el ultimo avance tecnologico y está protegido por patentes. Edwards Engineering Corp. ha sido el lider en equipos recuperadores de vapores de hidrocarburos desde 1973, habiendo instalado desde entonces mas de 400 sistemas alrededor del mundo. Este método que emplea la expansión directa asegura la maxima recuperacion con el minimo costo de operacion.

#### Características de Seguridad:

Una vez que los vapores entran al sistema de recuperacion de vapor Edwards, su manejo se realiza por debajo del punto de expansion "Flash Point". Nunca ha habido ningun fuego o explosion atribuible al sistema Edwards. Para uso en areas densamente pobladas el sistema Edwards representa la maxima seguridad sobre otros sistemas.

#### Eficiencia

Recientemente Edwards desarrolló y perfeccionó un sistema usando su experiencia en refrigeracion mecanica acoplando un sistema con nitrógeno liquido para crear una nueva generacion de unidades recuperadoras de vapores de hidrocarburos llamadas "Recuperadores de Vapores Mecanicos". Un numero de este nuevo diseño de unidades ha sido instalado y otros estan en proceso de fabricacion. El resultado ha sido excelente con respecto a emisiones, costo utilidad y bajo mantenimiento.

El diseño de dicho equipo cuando opera únicamente el sistema de refrigeración básico permite controlar las emisiones por debajo de la regulacion de la EPA a 35 mg/lt. procesado. Por la incorporacion de la seccion patentada por Edwards a base de nitrogeno liquido LN<sub>2</sub>, las emisiones se controlan por debajo de 10mg/lt.

El Sistema LN<sub>2</sub> es usado para condiciones de sobrecarga y para alcanzar bajos niveles de emisiones. La unidad LN<sub>2</sub> consume aproximadamente 24 ft<sup>3</sup> de nitrogeno por cada 1000 galones de sobrecarga por hora. Cuando se requieran 10 mg/lt de emisiones, el consumo de LN<sub>2</sub> sera de 45 ft<sup>3</sup> x 1000 galones cargados. Usando el sistema LN<sub>2</sub>, la recuperacion de vapores continuara a la misma capacidad y eficiencia aún en caso de mantenimiento mecanico en el sistema de refrigeracion.



## Operación:

El equipo que se ofrece está diseñado para operar automáticamente con el mínimo de mano de obra. Un contador de tiempo (timer) se ajusta de acuerdo al perfil de operaciones de la terminal. Al final del trabajo diario apagará el sistema y automáticamente entrará en ciclo de descongelado. Asimismo automáticamente llevará el sistema a las temperaturas de operación para el reinicio a la primera carga del ciclo. En los casos en que se requiriera una operación continua de 24 horas, una sección de los condensadores estará en descongelado mientras la otra recupera los vapores. El cambio es automático, solamente se requiere un mantenimiento y limpieza normal. Las lecturas, registros y gráficas de operación podrán ser manejadas como se desee.

Es conveniente considerar que cuando se manejan vapores provenientes de gasolinas de alto peso molecular como son las utilizadas en México, el diseño Edwards ha probado ser superior a los otros sistemas de recuperación. Primero a diferencia de los sistemas por absorción su eficiencia no disminuye. El diseño Edwards completamente probado es el único que por manejar el flujo de vapores a través de la sección de condensadores, no tiene obstrucción posible aun y cuando permite la formación de hidratos. Por no existir contacto entre vapores, refrigerantes, y descongelante la recuperación de vapores se hace en forma líquida y sin contaminación.

El sistema Edwards está diseñado para operar bajo las condiciones actuales de la EPA de control de emisiones a un máximo de 35mg/lt, y en el caso de sobreflujo el diseño básico permite su manejo por periodos alternos de 2 1/2 minutos, si el sobreflujo excede de los 2 1/2 minutos la sección de nitrógeno líquido entra en operación para manejarlo. Tal como indicamos anteriormente la sección LN2 se usaría conjuntamente con la de refrigeración para reducir las emisiones por debajo de los 10mg/lt.

## Descripción del equipo.

### 1. Primera etapa: serpentín de condensación de vapores.

Los vapores pasarán a través del primer serpentín vertical para condensar los vapores a 35° F. El mismo serpentín enfriador es de 7/8" de diámetro exterior y acero inoxidable 304 con aletas de aluminio. El serpentín es instalado en una caja de aluminio. El exterior de la caja será de aluminio y estará aislada con espuma de uretano. Los tubos de dren saliendo de la caja serán de aluminio. Las conexiones de los tubos serán con bridas para facilitar el fácil intercambio del serpentín. El refrigerante es R-22 expandido directamente dentro de los tubos del serpentín.

### 2. Segunda etapa: serpentín de condensación

Los vapores pasan inmediatamente al siguiente serpentín vertical para condensar los vapores a -100° F. Los serpentines refrigerantes serán tubos de 7/8" de diámetro exterior y acero inoxidable 304 con aletas de aluminio.



Para descongelar el serpentín estará equipado con un segundo juego de tubos de 5/8" y acero inoxidable. El d-Limoneno (anticongelante) circulará a través de estos tubos para descongelar. Cada serpentín será instalado en una caja de aluminio. El exterior de la caja será de aluminio y la misma será aislada con espuma de uretano. Todos los tucos de drenaje saliendo de la caja serán de aluminio y calentados. Las conexiones de tubos serán con brida para facilitar el intercambio del serpentín de solventes. El enfriador es R-23 en la baja etapa directamente expandido dentro de tubos del serpentín de condensación, el cual es entonces enfriado por el HP-62 en el sistema de alta etapa.

### 3 Tercera etapa serpentín condensador de vapor.

Los vapores pasarán a través de un serpentín final para mantener  $-100^{\circ}\text{F}$  durante sobrecargas o para enfriar a  $-160^{\circ}\text{F}$  para emisiones finales de 10 mg/lt. Este serpentín también será de tubo de acero inoxidable 304 con aletas de aluminio y montado en una caja de aluminio aislada. El descongelado será efectuado con aire de recirculación caliente proveniente de la primera y segunda etapas del ciclo de descongelado sobre este serpentín para calentarlo. El enfriamiento será con  $\text{LN}_2$  expandido directamente dentro de los tubos del serpentín.

### 4 Recipientes para los serpentines de condensación.

Tres contenedores cubrirán todos los serpentines, cada serpentín tendrá su propia cámara y línea de dren. La línea de entrada de la cámara será construida de aluminio. La parte inferior del envoltorio de la cámara será calentado por tubos para una capa de poliuretano expandido separará la entrada de la cámara de el recipiente exterior de aluminio. Todos los tubos de drenaje saliendo de cada cámara en el recipiente serán de aluminio y calentados. Los recipientes de los serpentines de condensación serán montados en el patin de refrigeración.

### 5 Sistema de descongelado.

Una aleación de acero inoxidable 304 será usada en la construcción del tanque de descongelado que se surtirá con d-Limoneno como líquido anticongelante. El tanque está aislado con 2" de espuma de uretano y la chaqueta exterior es de acero inoxidable 304.

Calentadores eléctricos, mirilla de vidrio, válvula de relevo y cojinetes de montaje están incluidos. El tanque es proporcionado montado en los patines de la unidad con todos sus tubos y cableado dentro de la unidad. También se incluye si es necesario soprador de descongelado para los serpentines  $\text{LN}_2$ . Las unidades dotizadas con un solo serpentín requieren de 2 horas por día para descongelamiento tiempo durante el cual la unidad no puede procesar los vapores. Las unidades dotizadas con doble serpentín pueden ser descongeladas en forma alternativa sin dejar de procesar vapores cuando el descongelado se este usando.



## 6. Dimensiones

De acuerdo a lo que se describe en la oferta comercial.

## 7. Servicios.

- Tanque de nitrógeno líquido suministrado por Linde, sin costo. (Se anexa propuesta Linde).
- Energía eléctrica: 400 volts, 3 fases, 60 ciclos.
- Clasificación eléctrica: Clase I, Grupo D, División I, NFPA 496, Tipo X purgado.
- HP totales por unidad: indicados en oferta comercial.
- Conexión de corriente localizada en el interior de la unidad. Un switch para desconectar está incluido.

## 8. Líquidos.

El líquido descongelante d-Limoneno se surte por separado y se coloca en los depósitos previo al arranque.

## 9. Decantador

Un decantador con capacidad de 50 galones de agua-hidrocarburos, está incluido. La separación se efectúa por gravedad. Una bomba de condensados está incluida. El decantador será calentado con el líquido anticongelante, se incluye un medidor para fácil contabilización de los hidrocarburos recuperados.

## 10. Rendimiento

Se garantiza que las emisiones de vapores estarán de acuerdo con la presión de saturación de los vapores a los cuales los mismos han sido enfriados.

El monitoreo será hecho con un analizador de hidrocarburos en el efluente. Este está incluido en el precio junto con el registro de temperatura, así como el medidor de recuperados.

La vida normal de estos equipos es de 20 años y no se prevee reemplazo de componentes mayores o elementos del proceso, con un mantenimiento adecuado.

No se manejan materiales peligrosos en nuestro proceso y ningún subproducto que no sea agua del decantador.

### Especificaciones del equipo

Todos los códigos referidos serán cubiertos. Estos equipos son normalmente surtidos con una caseta que abarca un espacio amplio para trabajos que permitan su operación de noche diseñada para zonas peligrosas. En áreas donde esto no es aceptado, costos adicionales pueden aplicar.





El cableado dentro del andador y el envolvente será iluminado y a prueba de condiciones climáticas extremas conforme a NFPA, Artículo 496. Otros cableados en el área del condensador será NEC, Clase I, Grupo D, División I.

En el caso de que la puerta fuera dejada abierta demasiado tiempo o una falla en la energía el sistema completo pararía inmediatamente.

Las emisiones tendrán un límite de 35 mg/lt procesado y cuando sean requeridas las reducciones a 10 mg/lt, esto se obtendrá con el uso adicional de la unidad de Nitrógeno Líquido

### Sitio preparado por el Adquiriente

- Una plancha de concreto será construida para formar el piso de la unidad
- La línea de tubería de vapores de las posiciones de llenado de los camiones a la unidad recuperadora de vapores será por el adquiriente.
- Líneas de agua condensada y gasolina deberán estar a límite de la cama o batería.
- La base del tanque de Nitrógeno líquido (por Linde) y la tubería a la unidad recuperadora de vapores

### Servicios Requeridos

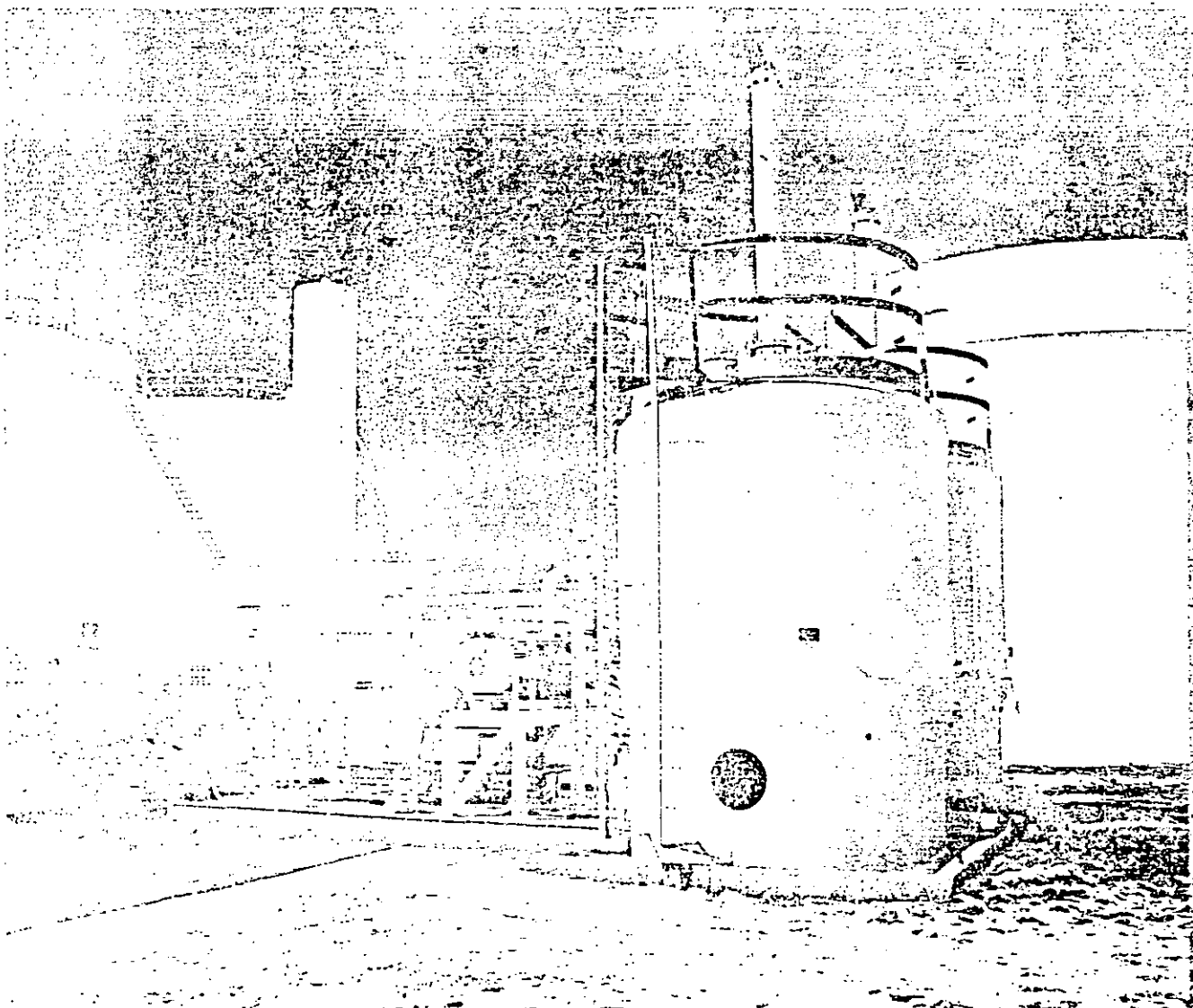
- Energía eléctrica a límite de batería.
- Conexión de una línea de gasolina condensada al tanque de almacenamiento de Nova
- Conexión para el agua condensada al separador agua-aceite

### PUNTOS DE INTERES

1. Los requerimientos de energía a demanda cero, serán del 10% de las cotizadas para máxima demanda y están basados en galones cargados en cualquier punto.
2. 20 años de vida útil son esperados para el equipo con mantenimiento apropiado
3. Ningún producto de consumo es usado en este equipo
4. El único subproducto es agua en pequeñas cantidades, 10 galones por cada 1 000 000 de galones manejados
5. El sistema LN<sub>2</sub> es extremadamente sencillo y difícilmente podrá fallar. Si el sistema mecánico fallara el sistema LN<sub>2</sub> es capaz de operar la terminal completa por sí solo.



6. Las unidades están hechas para áreas a prueba de explosión, usando una prueba X. (cruzada) de acuerdo a la Norma NFPA 496. Todas las unidades son automáticas y controladas con una unidad PLC. Transductores de presión y transmisores de temperatura dan las señales de alimentación a la unidad PLC Siemens 305. Esta unidad genera los ciclos de los compresores, bombas, motores y los controles del sistema LN2 conforme se requiera para mantener la temperatura y/o presión apropiada. El descongelado está manejado por un controlador de tiempo (timer) y puede ser ajustado por el personal conforme se requiera de acuerdo a las necesidades de operación. Todos los instrumentos y controles de alarma tienen un panel común de alarmas por falla.
7. Este equipo está considerado como el más seguro en el mercado, por las bajas presiones y temperaturas que maneja.

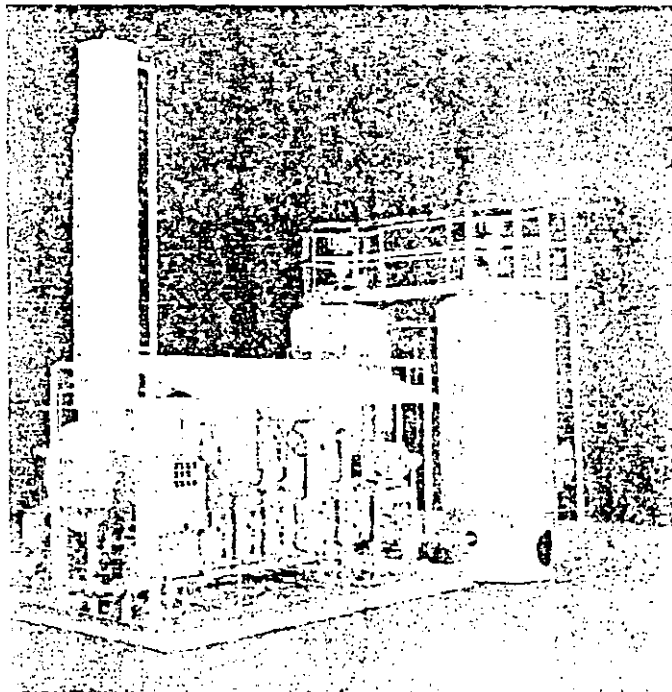
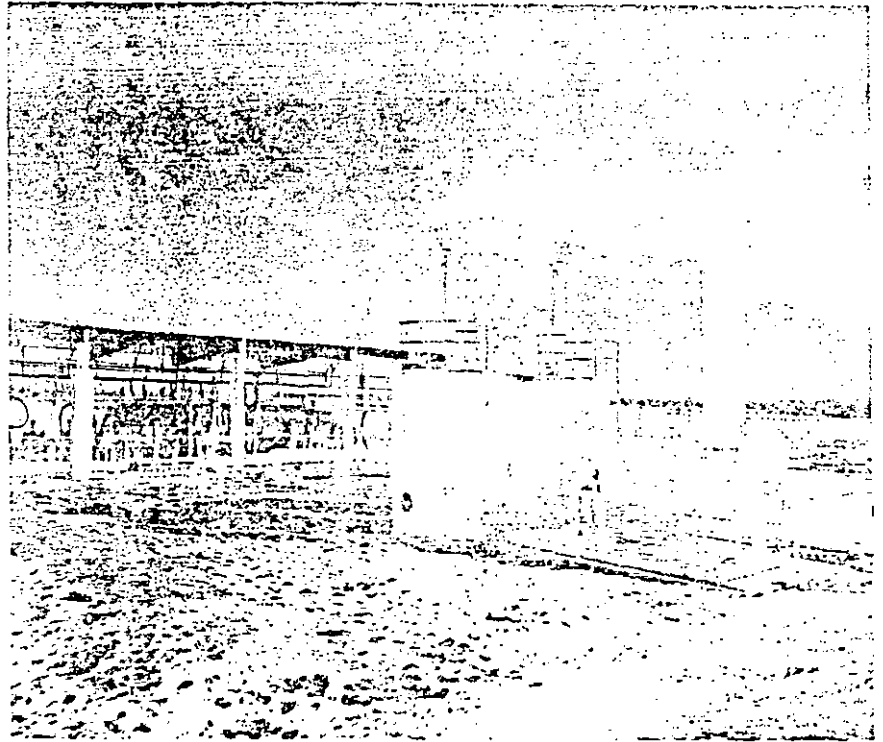


# HYDROCARBON VAPOR RECOVERY SYSTEMS

Condensation/Absorption/Absorption

# Hydrocarbon Vapor Recovery

John Zink Company's packaged systems for hydrocarbon vapor recovery satisfy air quality standards with state-of-the-art technology by reducing or eliminating undesirable hydrocarbon emissions.



# Advantages and Applications

## Advantages

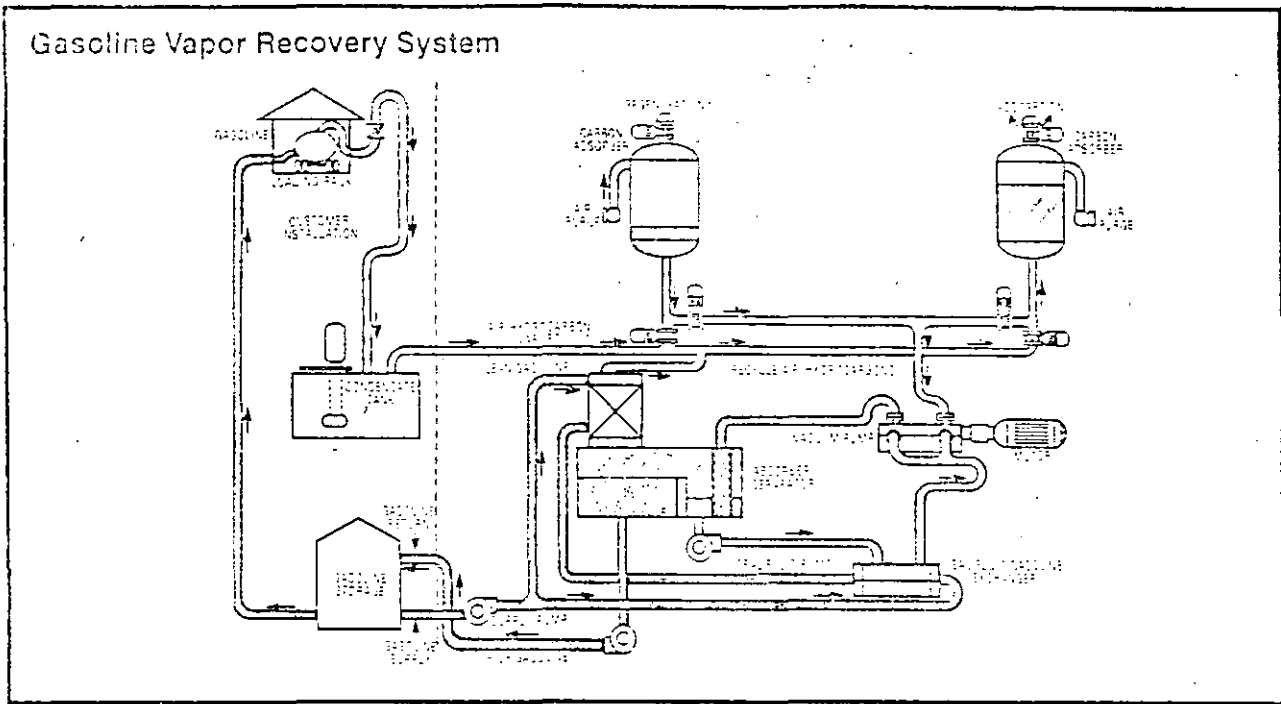
- Recognized by the U.S. EPA as the best demonstrated technology
- Hydrocarbon recovery exceeding 99%
- John Zink experience: hundreds of vapor recovery units in operation worldwide
- History of safe operation
- Single-source responsibility
- Each application individually sized
- Complete array of protection equipment and shut-down alarms
- Fully assembled and checked out prior to shipment
- Fast, easy field installation
- Sales and service offices worldwide
- Experienced, competent, courteous field service engineers

The patented John Zink Carbon Adsorption/Absorption Vapor Recovery System exceeds government regulations for the recovery of hydrocarbon vapors displaced during the handling of refined petroleum and certain chemical products. Important examples include gasoline, distillates (e.g., diesel, jet fuels), benzene and toluene. Field tests have proven that John Zink units effectively recover more than 99% of the hydrocarbons normally lost during handling. An impressive 25 times more energy is recovered than consumed, resulting in long-term benefits for the owner.

The widely used process of carbon adsorption, combined with absorption or condensation, effectively recovers hydrocarbons for return to product storage. These units have proven to be easy to install, operate and maintain.



# Operation



John Zink selects superior quality activated carbon with ideal properties for hydrocarbon recovery applications: long life, high capacity, low pressure drop and resistance to dusting. Activated carbon preferentially adsorbs certain molecules from gaseous mixtures because of its highly porous structure and tremendous surface area. Hydrocarbons are adsorbed onto the carbon surface. Adsorption is enhanced by higher pressures, lower temperatures and higher concentrations of hydrocarbons in the vapor mixture. Adsorption proceeds until the available surface area is filled or saturated. The recovered hydrocarbon is then removed by reversing one or more conditions – pressure, temperature or concentration. Vacuum regeneration followed by high vacuum air purge provides the carbon working capacity necessary to meet emission regulations.

Displaced vapors enter the active carbon vessel through the bottom and are dispersed upward through the carbon. Hydrocarbons are adsorbed, and purified air exits to the atmosphere through the top vent. Two carbon beds are provided for continuous service. As hydrocarbons are being removed from one carbon bed (regeneration), the second bed is on stream, adsorbing hydrocarbons.

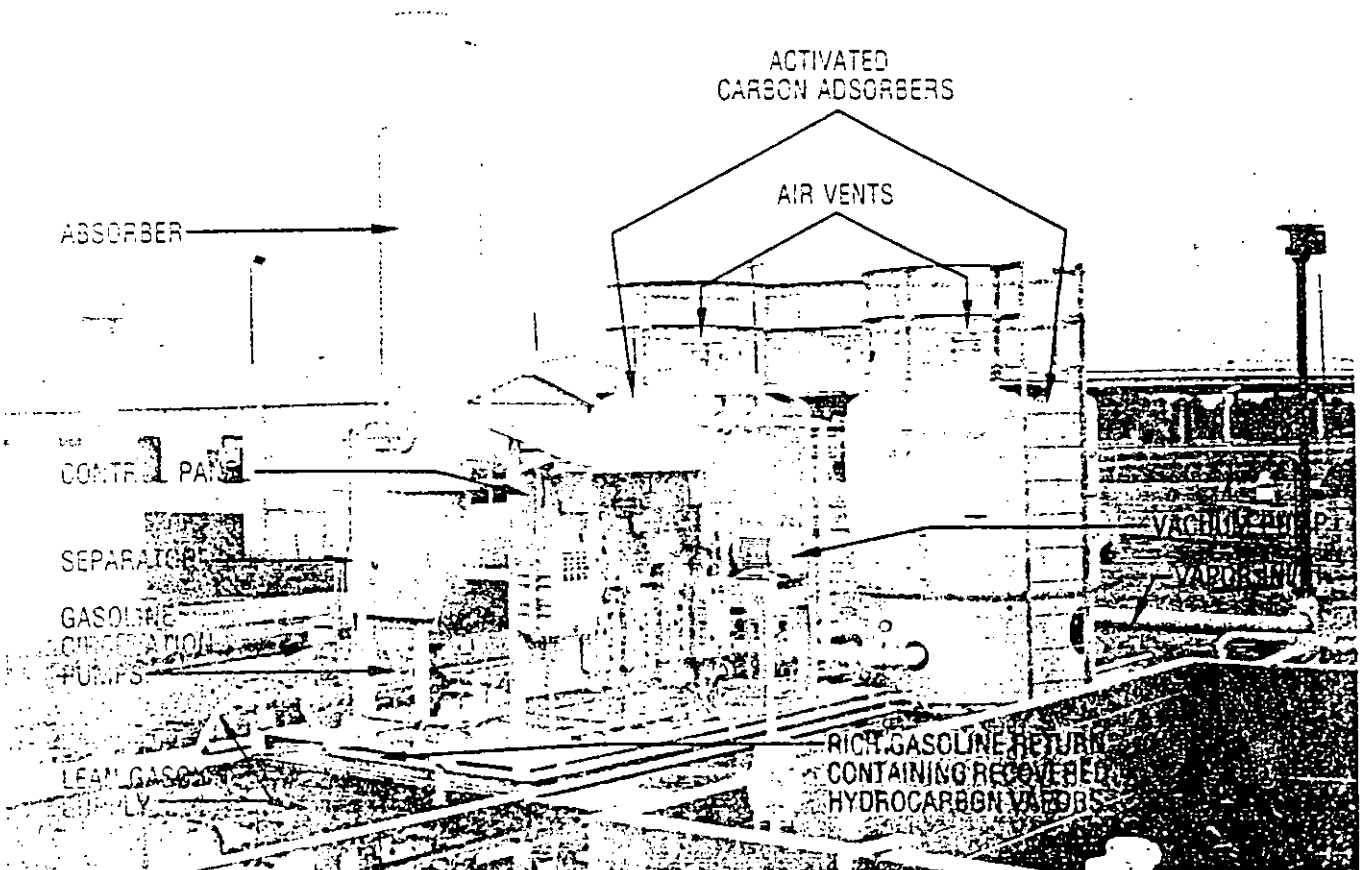
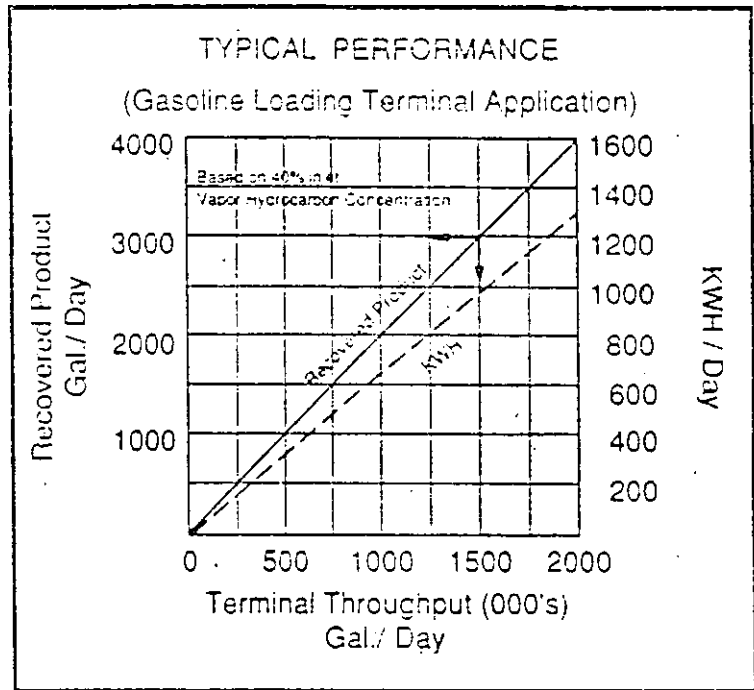
Hydrocarbon vapors and condensed hydrocarbon liquids discharge from the vacuum pump to a separator/absorber vessel. Non-condensed vapors, along with a small quantity of air, flow to the base of the packed absorber column and rise upward. A liquid hydrocarbon from storage is pumped to the top of the column and, as it cascades downward through the packing into the separator, absorbs most of the hydrocarbon from the air/hydrocarbon mixture. The liquid collected in the separator is returned to storage. A small stream of air and hydrocarbon from the top of the absorber is recycled to the carbon bed that is on stream, where the remainder of the hydrocarbon is adsorbed.

Several options are available to accommodate special applications or customer specifications. For example, a special inexpensive design modification is available to allow the system to operate efficiently if it is necessary to use high vapor pressure gasoline as the liquid hydrocarbon adsorbent. Another option allows the system to be used with existing vapor holders to minimize system cost. In some applications a condenser is substituted for the absorber column.

# Example: Gasoline Loading Facility

## Recovery and Energy Requirements

A typical John Zink unit designed for a gasoline loading terminal with a throughput of 1,000,000 gallons per day can recover 2,000 gallons of product while using only 700 kilowatt-hours of energy. Similar energy recovery-to-energy usage ratios can be expected for John Zink units in other applications. (Power usage is less than 1 KWH/1,000 gallons loaded, depending on daily throughput.)



Principal components of a John Zink Hydrocarbon Vapor Recovery Unit at a petroleum terminal.

## Special Features

### Performance Tests

EPA-Certified tests show the John Zink Vapor Recovery Units operate at emission levels of less than 1 mg liter with recovery efficiencies greater than 99%.

### Safety Equipment

Systems include the following standard items to insure safe operations: automatic safety shutdown switches, control logic/monitoring, and integral carbon bed cooling equipment. Factory Mutual recommendations have been incorporated.

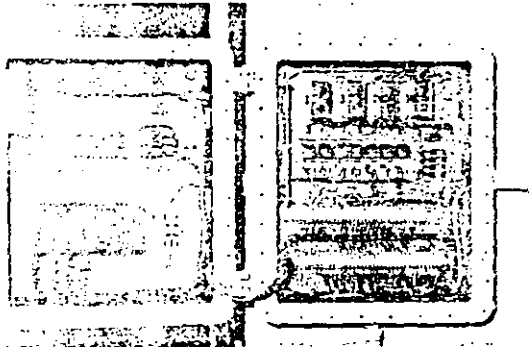


### Vent Valves

Motor-operated vent valves are actuated gradually to slowly break the regeneration vacuum, preventing carbon damage.

### Solid State Logic

Superior reliability and greater flexibility for in-field changes are provided by solid state control logic. Light indicators and plug-in LO modules dramatically simplify troubleshooting procedures.



### Total Control Monitor

A dedicated system simplifies troubleshooting procedures by continuously monitoring normal operating functions and preventing unit-related shutdowns.

### Safeguards

System safeguards are engineered into each system to protect against wide ranges in ambient temperatures and humidity.

### Vacuum Pumps

Designed for high-level vacuum operation, the vacuum pumps are very reliable and easy to maintain.



### Carbon Bed Supports

Internal carbon bed supports are of grid-and-screen construction. This support method, along with the open vessel heads, allows for even vapor distribution.



### Quality Components

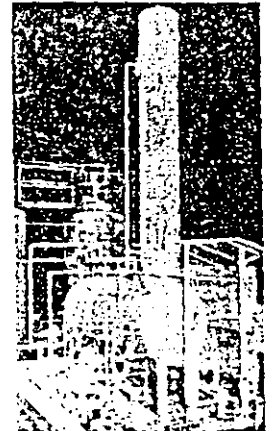
Motor-operated valves and other components are of highest quality and have been selected for long operating life and low maintenance characteristics.

### Design

The fundamental process exhibits less complexity than mechanical refrigeration systems and other carbon systems which utilize pre-absorption. This results in reduced maintenance and greater reliability.

### Two-stage Absorber

The John Zink design requires less absorbent circulation than other carbon systems.





## **Engineering and Technical Resources**

The Company maintains a staff of applications specialists, project engineers, R & D technicians and field service representatives dedicated to vapor control projects. Other engineering disciplines and technical support are also available within the organization as needed.

## **Total Scope Project Execution**

John Zink offers a full range of engineering and construction services for Hydrocarbon Vapor Recovery Projects. The Company has the resources to complete the design, engineering, permit acquisition, equipment fabrication, field installation and start-up of these projects.

## **John Zink Vapor Control School**

Several times a year, Zink offers a training seminar for vapor control system operators. It is open to owners and potential owners of Zink systems.

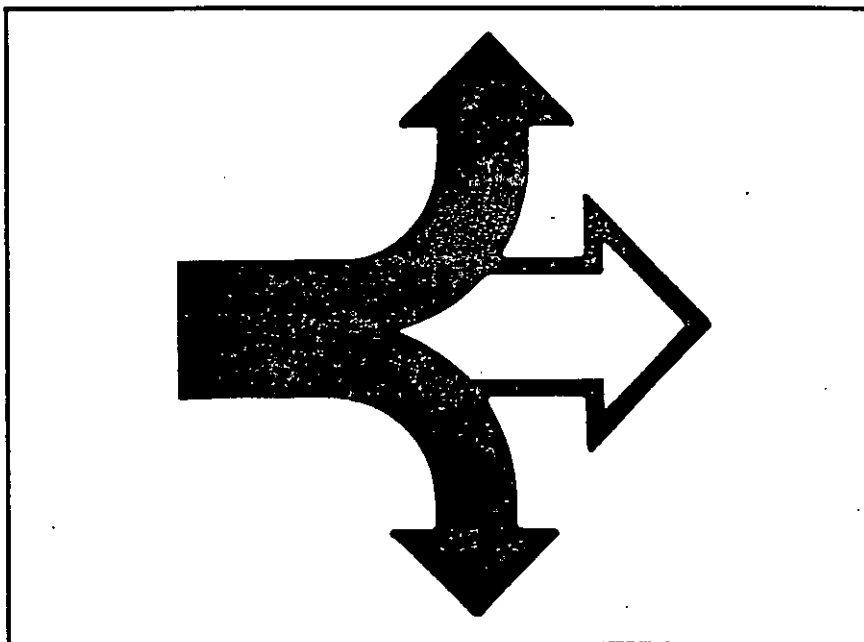




Parallel Plate Coalescing Systems for

# PHASE SEPARATION

New high-efficiency gravity separation of liquid, solid or gas phases.  
Computer-matched to individual problem requirements.



- INDUSTRIAL
- CHEMICAL PROCESSES
- ENVIRONMENTAL
- MARINE

**PhaSep** 

PHASE SEPARATION SYSTEMS

PhaSep 

# Phase Separation Systems

**No moving parts • No power required • No expendable filters or chemicals**

## APPLICATIONS

PhaSep systems separate mixtures of matter—combinations of liquids, liquids and solids, and liquids and gases—economically and efficiently.

### TOTAL TREATMENT...

In most applications a PhaSep system is the only equipment necessary to obtain the liquid quality required.

### FIRST STAGE...

However, PhaSep Separators are also used for first-stage separation where secondary filtration or chemical treatment is required. A first-stage PhaSep system improves the efficiency of secondary operations—reducing the consumption of costly chemicals, filter media, membranes or coalescing cartridges.

### SECOND STAGE...

In addition, PhaSep systems can be used in a second-stage operation to separate the elements of a discontinuous phase created by aeration or flocculation.

## SPECIFIC APPLICATIONS INCLUDE:

### INDUSTRIAL...

Oil/water separation for parts washers, air compressor condensate cleanup, and other liquid/liquid separation problems, such as: Tanker truck washing • Rail yards, transformer and tank farms • Coolant or quenchant cleanup...tramp oil and solids • Pre-filter applications

### CHEMICAL PROCESSES...

Separation of reaction products • Heater—Treater systems • Food processing • Solvent/water separation

### ENVIRONMENTAL...

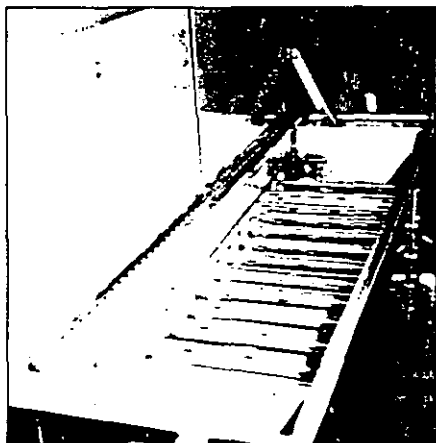
Oil/water separation for sewage pre-treatment, rainwater runoff and other separation problems, such as: Oil spill containment, removal and cleanup • Hazardous material concentration and separation.

### IMPROVE A.P.I. SEPARATOR PERFORMANCE

Upgrade existing A.P.I. tanks or pits with PhaSep plate modules.

### MARINE USES...

Bilge water and ballast water cleanup...ship or shore • Tanker washing • Fuel stripping



## Controlled Separation

The design of the patented PhaSep<sup>®</sup> coalescing plates insures that laminar flow is maintained throughout the plate section. Laminar flow conditions permit maximum particle and droplet separation to occur. Separation efficiency is further increased by (1) a maximum amount of plate surface provided for coalescence to take place, and (2) a minimum distance for the droplets and particles to rise or fall. The PhaSep design provides conditions for near optimal rates of settling and rise, as predicted by Stoke's Law.

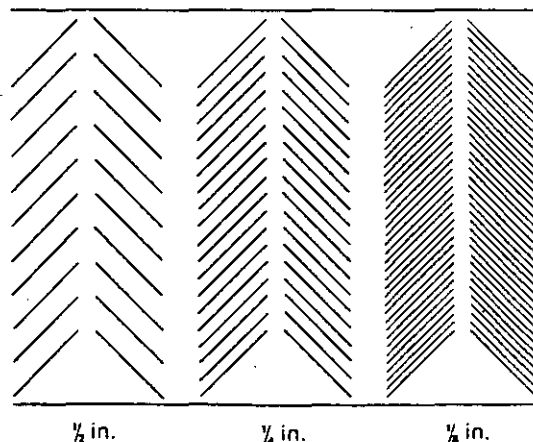
Waste solids and fluids can be removed simultaneously from the liquid being processed.

## PhaSep Variable Plate Spacing

In the patented PhaSep system, plate spacing and angle can be varied. This feature permits designs which maintain the specified effluent quality, even while the content of the incoming mixture varies greatly.

For example—systems can be designed to separate oil/water mixtures in which the oil content varies from zero to 100%, while maintaining the effluent at no more than 10 parts of oil per million.

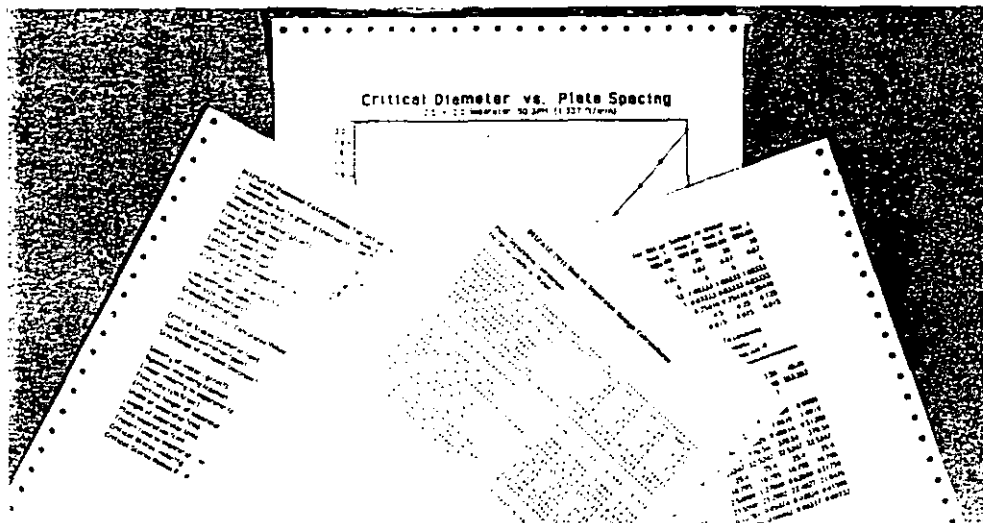
Typical Parallel Plate Spacing



**"Phase—a homogeneous, physically distinct portion of matter in a system which is not homogeneous."**

(Example: oil in water)

## Computer Analysis and Specification for Cost-Effective Systems



Helping the customer analyze the problem is an important element of PhaSep service. And a copyrighted computer program helps determine the most technologically efficient and cost-effective solution.

This PhaSep analytical and engineering support considers:

- fluid mixtures
- flow rates
- viscosities and specific gravities
- settling properties
- volumes
- temperatures
- fluid pH
- effluent standards

From those factors it determines the separator shape and size, plate spacing and other component specifications for the most cost-effective separator system.

### LOW COST MODULAR CONSTRUCTION

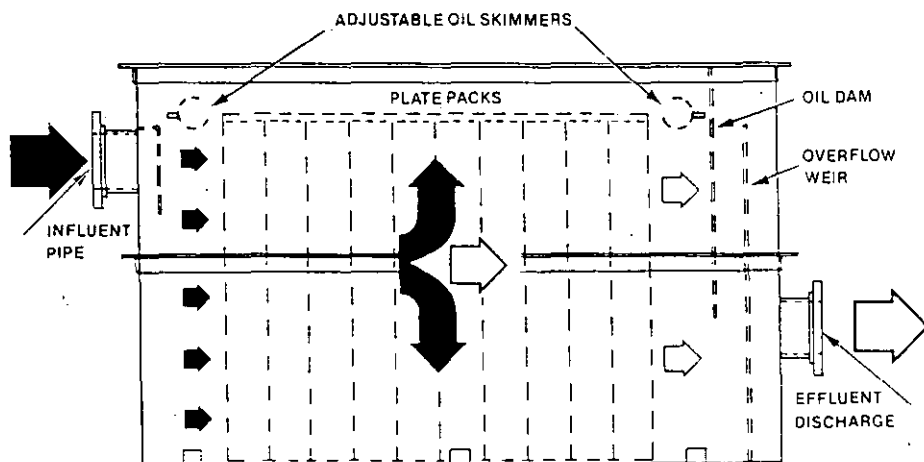
Many needs can be met with a standard PhaSep model. However, when a special system is needed, PhaSep's modular design concept holds down cost—provides a custom separator at almost an off-the-shelf price.

## The PhaSep Separation System Package

—Economically and Environmentally Sound

When the required plate configurations and spacings are identified by computer analysis, they are packaged in a tank generally arranged as shown here.

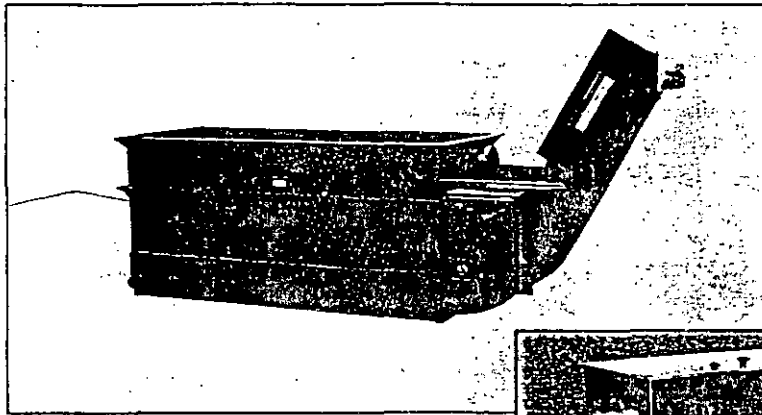
- An entry chamber allows high concentrations of the mixed phases to separate promptly.
- The fluid then enters the plate section, where the final polishing occurs. Lighter liquids or solids collect on the surface, where they are automatically skimmed and removed. Heavier liquids or solids settle to the bottom, where scraper lines, discharge ports or collection chambers allow removal.
- The clean continuous phase then leaves the tank for reuse, recycle or discharge.



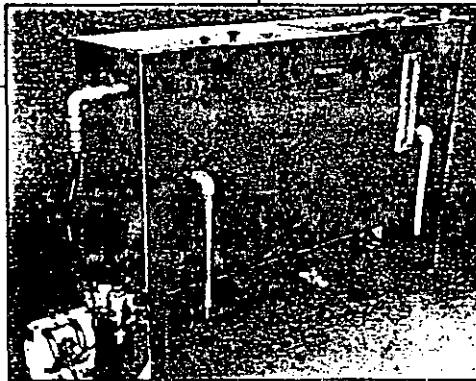
Typical PhaSep Separator

# PhaSep

STANDARD AND CUSTOM SEPARATORS... COMPUTER MATCHED TO EVERY NEED!



PhaSep 50 gal./minute Separator with automatic drag-link conveyor to remove heavy solids.



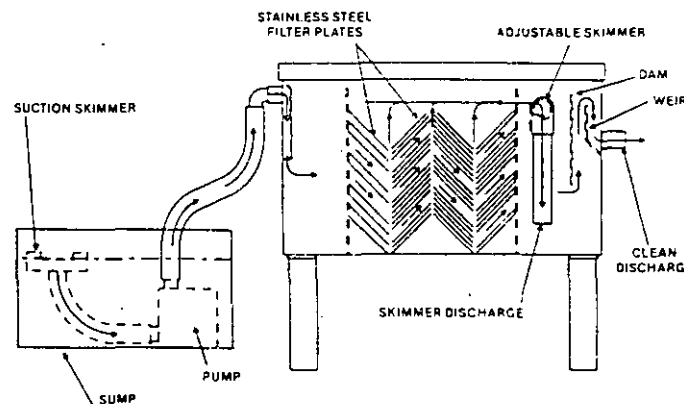
PhaSep All Stainless Steel Separator System

## GENERAL INFORMATION

**Operating Range:** Temperature: 32° to above 212.°  
Fluid pH: 1 to 14.  
Flow: 1 gallon per minute and up.

**Maintenance:** Removal of accumulated solids.

PhaSep technology reduces maintenance costs!  
No moving parts—No power required—No expendable filter elements or chemicals!



# PhaSep

## METRASA

EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA S.A. DE CV  
Carretera 34-40, Piso 11590 Mexico, D.F. Tels. 250 49-10 255-51 51  
Cable: 20-10. Telex: 3722731 ELMEX



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

C: 126 CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO  
AMBIENTAL.

MOD. I  
TEMA 4.- METODOS DE CONTROL DE CONTAMINACION  
DEL AIRE.

ING. FRANCISCO ESCALANTE MARTINEZ.

SEPT. 1994.



EQUIPO DE CONTROL PARA  
CONTAMINACION ATMOSFERICA

1 INTRODUCCION.

El deterioro de la calidad del aire en el país ha sido cada vez mas evidente, especialmente en las areas urbanas como la zona metropolitana de la Cd. de México, Monterrey y Guadalajara, y en zonas industriales como Coatzacoalcos, Minatitlán, Salamanca etc. Debido a esto es cada vez mas importante y necesario que se eviten o reduzcan las emisiones contaminantes de la atmósfera.

La mayor parte de las técnicas usadas en el control de la contaminación atmosférica se conoce desde hace nucho tiempo pero no se han puesto en operación con la intensidad debida. A continuación se intenta una rapida revisión de esas técnicas y sus posibilidades.

2 CONTAMINANTES.

Se entiende por contaminante toda materia o energía que por su naturaleza intensidad, concentración o ubicación, afecte la calidad del ambiente de manera que pueda provocar daños o molestias a la salud, la fauna, la flora y/o el equilibrio ecológico.

2.1. CLASIFICACION.

Los contaminantes pueden clasificarse desde diferentes puntos de vista:

2.1.1 Por su estado físico se dividen en:

GASES  
VAPORES  
PARTICULAS SOLIDAS  
PARTICULAS LIQUIDAS

2.1.2 Por su origen los contaminantes pueden clasificarse como:

NATURALES:

CENIZAS Y GASES VOLCANICOS  
GASES DE PUTREFACCION  
PARTICULAS DE EROSION EOLICA

ARTIFICIALES:

Productos de:

COMBUSTION  
REACCIONES QUIMICAS  
FRAGMENTACION

3 CONTROL DE EMISIONES:

3.1 OBJETIVOS DEL CONTROL DE EMISIONES

Los objetivos de control de emisiones son variados y entre ellos se puede distinguir:

3.1.1 ECONOMICOS. Cuando el control de emisiones o la captación de contaminantes reporta un beneficio directo, ya sea por ser parte del proceso productivo o por permitir la recuperación de materiales valiosos, ahorrar energía o utilizar el gas limpio.

3.1.2 SOCIALES

Entre los objetivos sociales se pueden contar los citados a continuación:

Reducir riesgos a la salud de los trabajadores  
Mejorar relaciones con la comunidad.  
Atenuar la degradación del ambiente  
Cumplir con leyes y reglamentos.

Si bien los demas motivos son válidos, cumplir con las leyes y reglamentos vigentes resulta ser actualmente el motivo mas importante, ya que a medida que la contaminación aumenta la sociedad requiere mas medios para obligar a sus miembros a cumplir con la parte que le corresponde a la solución del problema.

3.2 MEDIDAS DE CONTROL.

Las medidas de control si bien son semejantes entre si, presentan matices diferentes segun el tipo de fuente que los genera, por lo que las trataremos por separado:

En cuanto a medidas de control, la división mas importante se refiere al tipo de fuente que origina los contaminantes distinguiendose entre:

FUENTES MOVILES  
FUENTES FIJAS

3.2.1 FUENTES MOVILES.

La contaminación originada en fuentes móviles se puede controlar o reducir por medio de:

3.2.1.1 REDUCCION DE EMISIONES:

Motores mas eficientes  
Mejores carburadores  
Mejores combustibles  
Uso de catalizador

3.2.1.2 FUENTES DE ENERGIA ALTERNAS:

Humana (bicicleta).  
Eléctrica de grandes centrales (metro, trolebús).  
Automóviles eléctricos (con sus limitaciones).

3.2.1.3 USO RACIONALIZADO DEL TRANSPORTE:

Reducción del uso de automovil particular utilizando:

Metro  
Tren eléctrico  
Autobuses  
Trolebuses

3.2.1.4 EFECTOS DE LAS MEDIDAS TOMADAS:

En las ultimas dos décadas se han hecho esfuerzos y se han obtenido grandes avances en la reducción de emisiones, pues facilmente se advierte que los vehículos son mas ligeros, tienen motores y sistemas de combustión mas eficientes, y bien mantenidos y operados emiten solo una fracción de los contaminantes que antes se descargaban a la atmósfera; también se han mejorado

los combustibles, eliminando el plomo en una buena parte de la gasolina comercializada y reduciendo significativamente el plomo en el resto de ellas, así como reduciendo el contenido de azufre del diesel y los combustibles usados en la zona metropolitana. sin embargo el aumento en la cantidad de vehículos ha hecho que esto resulte insuficiente.

En el uso de otras fuentes de energía no se han logrado avances tan espectaculares, pues no se ha incrementado suficiente el uso de la bicicleta ni es aun factible usar automoviles eléctricos autogeneradores, y los otros vehículos que usan electricidad tales como el Metro y Trolebuses requieren la generación de energía que en su mayor parte se producen por termoeléctricas que tambien generan contaminantes.

La medida que mas beneficios puede ocasionar y en el menor plazo es la racionalización del transporte mediante el uso de transporte masivo. El programa HOY NO CIRCULA ha sido un fracaso, pues al volverse obligatorio y sin haber una alternativa real de transporte colectivo, dió origen a un desusado incremento del numero de vehículos en circulación, de tal manera que los dias habiles se tiene igual cantidad de vehículos circulando que antes del programa permanente, y los sabados y domingos que eran periodos de recuperación de calidad del aire, se puede apreciar que tenemos una circulación alta por la abundancia de unidades.

### 3.2.1.5 SOLUCIONES:

Las soluciones son entonces:

Mas metro.

Mas tren eléctrico

Mas autobuses modernos equipados con motores y dispositivos para reducir la contaminación.

Mejor vialidad para estos vehículos en detrimento de la vialidad de los vehículos privados.

Menos vehículos particulares en circulación, especialmente los que viajan con una sola persona.

La aplicación de estas medidas queda en general fuera del alcance del ciudadano medio que solo puede presionar a las autoridades para que trabajen en este sentido y actuar consecuentemente en lo personal.

3.2.2 FUENTES FIJAS.

Se entiende por fuentes fijas, aquellas que permanezcan en un mismo sitio, aunque pudieran ser transportables. Prácticamente todas las industrias caen dentro de esta clasificación.

3.2.2.1 OPCIONES DE CONTROL:

Para controlar las emisiones de fuentes fijas el procedimiento de selección adecuado incluye:

3.2.2.1.1 Revisión del proceso. Investigar si este puede ejecutarse de otra manera que evite o reduzca la generación de contaminantes.

3.2.2.1.2 Revisión de equipo. Puede usarse otro tipo de máquina o de materias primas que generen menos contaminación.

3.2.2.1.3 Control de emisiones. Una vez que se revisó la posibilidad de usar las dos primeras medidas sin obtener resultados, procede el control de emisiones.

3.2.2.2 CRITERIOS DE SELECCION.

Para seleccionar el sistema de control adecuado se requiere conocer previamente:

3.2.2.2.1 PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES

GENERALES:

ESTADO FISICO  
CORROSIVIDAD  
TOXICIDAD  
INFLAMABILIDAD  
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

PARA PARTICULAS:

TAMAÑO Y FORMA.  
DENSIDAD  
ADHESIVIDAD  
HIGROSCOPICIDAD  
ABRASIVIDAD

3.2.2.2.2 CARACTERISTICAS DE LA EMISION.

De las condiciones en que se emiten los contaminantes es necesario saber:

FLUJO DE GASES  
COMPOSICION  
TEMPERATURA  
HUMEDAD  
INFLAMABILIDAD  
EXPLOSIVIDAD  
CORROSIVIDAD

3.2.2.2.3 DATOS DEL PROCESO.

Del proceso en que se origina la emisión contaminante se requiere:

DESCRIPCION  
TIEMPO DE OPERACION  
CAPACIDAD  
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO EMISOR

3.2.2.2.4 DATOS GENERALES.

Se requieren entre otros datos adicionales:

UBICACION  
ALTITUD  
LUGAR DISPONIBLE  
CONDICIONES AMBIENTALES  
DISPONIBILIDAD DE:  
ENERGIA ELECTRICA  
AIRE COMPRIMIDO  
VAPOR  
COMBUSTIBLES

4 EQUIPOS DE CONTROL DE EMISIONES.

4.1 CONTROL DE PARTICULAS

4.1.1 ALTERNATIVAS DE CONTROL DE EMISIONES.

Los equipos de control de emisiones atmosféricas de que se dispone para fuentes fijas (generalmente industrias) son, según su funcionamiento:

4.1.2 COLECTORES SECOS:

Los colectores secos se utilizan principalmente para captar contaminantes sólidos o líquidos, dependiendo su selección del tipo y tamaño de partículas a captar.

Dependiendo de los materiales de construcción, resisten altas temperaturas y corrosividad, y pueden manejar sustancias corrosivas, higroscópicas, inflamables y tóxicas.

TIPOS DE COLECTORES SECOS:

INERCIALES:

CAMARAS DE SEDIMENTACION  
SEPARADORES DINAMICOS  
CENTRIFUGOS

FILTROS DE BOLSAS:

DE TELA TEJIDA  
DE TELA AGUJADA

EQUIPOS DE ABSORCION:

DE CARBON ACTIVADO  
DE OTROS ELEMENTOS

PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

POSTQUEMADORES O INCINERADORES.

DE COMBUSTION NORMAL  
DE COMBUSTION CATALITICA

4.1.3 COLECTORES HUMEDOS:

CAMARAS DE ASPERSION  
FILTROS HUMEDOS  
TORRES EMPACADAS  
LAVADORES VENTURI  
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

4.1.2 COLECTORES SECOS.

Sus características mas notables son:

4.1.2.1 COLECTORES INERCIALES:

Los colectores inerciales basan su funcionamiento en la rapidez con que las partículas pueden separarse de los gases que los portan, opuesta a su resistencia a caer en aire quieto. La velocidad máxima de caída se logra cuando el peso es equilibrado por la "flotabilidad" y la fricción generada por el movimiento en contacto con el aire.

4.1.2.2 CAMARAS DE SEDIMENTACION:

Estos equipos funcionan aprovechando la atracción gravitacional, haciendo que las partículas caigan en un depósito cuando pasan por una cámara amplia, que origina una velocidad de translación muy baja y permite que las partículas se separen de la corriente gaseosa que los transporta. Ocupan mucho espacio, requieren poca energía (fricción de 5 a 20 mm de columna de agua) y en la práctica solo se usan para partículas de mas de 100 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

4.1.2.3 SEPARADORES DINAMICOS:

Funcionan pasando los gases contaminados por un brusco cambio de dirección, con lo que las partículas suficientemente pesadas se escapan de la corriente gaseosa hacia un deposito. También son voluminosos, requieren poca energía (presión estática requerida de 15 a 50mm CA) y se usan para partículas de 50  $\mu\text{m}$ .

4.1.2.4 CENTRIFUGOS:

La base de su funcionamiento es la fuerza centrífuga que actua sobre las partículas mas densas que el aire, que son sometidas a un flujo helicoidal semejante al de un ciclón, de donde reciben su nombre mas popular. Necesitan mas energía que los anteriores, pues su resistencia al paso del aire varia habitualmente de 50 a 120 mm CA y se usan con partículas entre 200 y 20  $\mu\text{m}$ .

4.1.2.5 FILTROS DE TELA:

Los filtros de bolsas operan por el principio de cernido, esto es, haciendo pasar el aire contaminado por una tela o tejido, en la que inicialmente se



detienen las partículas mas grandes que los orificios o poros y ya en operación se forma una capa del mismo material retenido (torta), en la que se retienen partículas mucho menores que los poros de la tela. Tienen una caída de presión alta (de 100 a 200 mmCA) y se usan para partículas hasta de un micrómetro. Su principal limitación es que a medida que la torta crece, se requiere mayor presión para pasar los gases por el filtro, por lo que para operar en forma continua se requiere prever un sistema de limpieza de la tela.

#### 4.1.2.5.1 DE TELA TEJIDA:

Estos filtros usan telas tejidas con hilos multifilamento, tienen la ventaja de ser fácilmente limpiables por sacudimiento o inversión de flujo, pero su permeabilidad es limitada, utilizandose en general para cargas de 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min.

#### 4.1.2.5.2 DE TELA AGUJADA:

La tela agujada, se produce clavando en una tela lisa una gran cantidad de fibras, formando un tejido tipo fieltro, que puede retener partículas a diferentes profundidades, con lo que se pueden filtrar flujos mayores (hasta 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min), con la misma resistencia que el tipo liso.

#### 4.1.2.5.3 DE CARTUCHO:

Una variante interesante de lo anterior que se empezó a usar recientemente son los filtros de cartucho. Estos filtros consisten en un armazon metálico que sirve de soporte a un medio filtrante continuo, colocado en forma anular zigzagueante, semejante a los filtros que se venian usando para el aire de entrada a motores de combustión interna, llegandose incluso a usar membranas de papel filtro. Estos filtros permiten acomodar una gran area filtrante en un espacio muy reducido; se usan preferentemente para filtrar polvos fácilmente desprendidos, requieren limpieza por aire comprimido y tienen una vida útil menor que los otros filtros.

#### VENTAJAS DE LOS FILTROS DE TELA:

Retiene partículas hasta de un  $\mu\text{m}$ .  
Alta eficiencia de captación (superior al 98%)  
Eficiencia independiente del flujo manejado.

DESVENTAJAS DE LOS FILTROS DE TELA:

Con telas normales (algodón, poliéster, etc), solo resisten temperaturas de hasta 120 ° C; y con telas especiales (fibra de vidrio o Nomex Dupont), pueden trabajar hasta por encima de 400 C.

Alto costo inicial.  
Alto costo de mantenimiento.

4.1.2.6 EQUIPOS DE ADSORCION:

Con la necesidad de captar vapores contaminantes, especialmente vapores orgánicos, se ha venido extendiendo el uso de sistemas de adsorción, en los que se hace pasar los gases contaminados por un relleno de material adsorbente, tal como carbón activado o sílica gel; estos materiales adsorben, es decir, retienen en su superficie las moléculas de los contaminantes.

Estos elementos pueden ser:

4.1.2.6.1 Regenerables, cuando cuentan con un sistema que mediante vapor o gases calientes, separan el material captado (desorben) para recuperarlo o destruirlo.

4.1.2.6.2 Desechables, cuando una vez que por estar cerca de la saturación, la eficiencia de adsorción disminuye por abajo de lo requerido. En este caso debe considerarse la posibilidad de que el elemento gastado constituya un residuo peligroso.

4.1.2.7 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

Los precipitadores electrostáticos son considerados lo máximo en control de contaminación. La razón de ello es que pueden trabajar con eficiencias muy altas, pero ello depende de una correcta selección, fabricación, armado y operación.

Su funcionamiento se basa en que una partícula con carga electrostática es atraída por cualquier cuerpo que tenga carga opuesta, con una fuerza que es directamente proporcional a la diferencia de carga e inversamente a la distancia que las separe. El equipo consiste generalmente de electrodos emisores cargados negativamente y electrodos receptores cargados positivamente, entre los que se hacen pasar las

partículas contaminantes, que son bombardeadas por los electrones que fluyen en el campo electrostático y cargadas hasta su saturación; depositándose luego en el electrodo receptor.

VENTAJAS:

Pueden lograrse eficiencias de mas de 99.997 %.  
Presentan baja resistencia al flujo (10 a 50 mmCA)  
Pueden manejar materiales húmedos y abrasivos.  
Bajo costo de operación.

DESVENTAJAS:

Solo operan a temperaturas menores de 300 °C.  
No pueden manejar gases o partículas inflamables o explosivas.  
Alto costo inicial.

4.1.2.8 POSTQUEMADORES O INCINERADORES:

Los postquemadores son especialmente adecuados para destruir substancias peligrosas, tales como compuestos volátiles orgánicos, solventes, materiales tóxicos, etc. Operan por el principio de combustión, oxidación o disociación de los contaminantes.

DE COMBUSTION NORMAL:

Los incineradores de combustión normal se usan llevando la temperatura de los gases, mediante la combustión de un combustible idoneo (generalmente gaseoso), a las temperaturas adecuadas para lograr los objetivos (de 800 a 1200 °C), durante el tiempo necesario (de 0.1 a 1.5 segundos).

DE COMBUSTION CATALITICA:

Cuando los contaminantes son combustibles, tales como la mayoría de los solventes y vapores orgánicos, se puede utilizar un quemador catalítico, en el que mediante la presencia de una gran superficie recubierta con un metal precioso (generalmente platino) que actua como catalizador, la combustión tiene lugar a temperaturas mucho mas bajas, de alrededor de 400 °C.

VENTAJAS:

Destruyen totalmente los contaminantes, produciendo generalmente solo CO<sub>2</sub> y vapor de agua,

rompiendo moléculas peligrosas (askareles).

Aprovechan el calor de combustión de los vapores contaminantes.

DESVENTAJAS:

Frecuentemente tienen un alto costo de operación por consumo de combustible. requieren instrumentación sofisticada y cuidadoso mantenimiento para evitar emisiones tóxicas.

4.1.3 COLECTORES HUMEDOS:

Los colectores húmedos funcionan haciendo entrar en contacto los contaminantes de una corriente gaseosa con agua u otro líquido capaz de retenerlos, absorberlos o diluirlos. La eficiencia de captación depende de la superficie de contacto gas-líquido y de la relación entre el tamaño de las partículas y las gotas, pues entre menores sean las gotas en que se fragmenta el líquido captador, mayor será la eficiencia de captación. Los principales tipos son:

4.1.3.1 CAMARAS DE ASPERSION:

Las camaras de aspersion son generalmente cuerpos cilindricos o rectangulares por los que pasan los gases expuestos a una lluvia de líquido que sale de boquillas de aspersion situadas dentro del conducto. Generalmente son de baja eficiencia y sirven solo para partículas de 50  $\mu\text{m}$  o más.

4.1.3.2 DE FILTRO HUMEDO.

Un mejor funcionamiento se obtiene cuando se instalan elementos filtrantes o superficies de contacto mojadas por medio de aspersores de baja presión, facilitando el contacto gas líquido. Los elementos de contacto pueden ser paquetes de fibra o láminas corrugadas, se usan para partículas de 20 a 50  $\mu\text{m}$ .

4.1.3.3 TORRES EMPACADAS:

Las torres empacadas se usan desde hace mucho tiempo en procesos de absorción y se basan en hacer pasar los gases contaminados a través de un paquete de elementos de contacto (anillos rashing o similares), en los que se obtiene una superficie de contacto ampliada, se usan para condiciones semejantes a las de filtro húmedo.

4.1.3.4 VENTURI

En los colectores venturi la alta eficiencia se logra fragmentando el agua al hacerla pasar por una garganta o estrechamiento del ducto, en contacto con agua sin presión. La finura de la fragmentación del agua depende de la velocidad de los gases, y ésta a su vez de la energía que se

les aplique. Los rangos de operación son los siguientes:

TIPO	PRESION ESTATICA (mm CA)	TAMAÑO PARTICULA (um)
BAJA PRESION	De 100 a 200	10 o mayores
MEDIA PRESION	De 201 a 300	3 o mayores
ALTA PRESION	Mayor de 300	0.5 o mayores

#### 4.1.3.5 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

Algunas aplicaciones de este tipo de colector permiten el uso de agua para limpiar los electrodos colectores y obtener mejor eficiencia de captación con menor voltaje y consumo de energía.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL  
MODULO I**

**NATURALEZA DE LA CONTAMINACION (AIRE, AGUA,  
DESECHOS SOLIDOS, DESECHOS PELIGROSOS)**

**ING. MIGUEL A. CASTILLO H.**

## VI. - LA CONTAMINACION DEL AGUA, DEL AIRE Y DEL SUELO.

### AFECTACION DEL AMBIENTE POR CONTAMINACION

#### CONTAMINACION DE AGUAS.

##### Causas de contaminación y resguardo.

Agua sucia y dañina al humano siempre ha existido; basta recordar las diversas condiciones en que se puede hallar el agua cuanto a turbiedad, olor, color y contenido de cuerpos flotantes; con todos estos defectos y aún cuando tenga calidad de potable, solo la naturaleza ha intervenido y por ello no debe ser considerada como degradación, simplemente que ya es así desde su estado natural.

Por tanto cabe aclarar que existe una franca diferenciación entre la contaminación natural y la provocada por el hombre.

La intervención del hombre puede modificar su calidad y no se piense que ésto ocurre siempre en forma negativa, porque si en estado natural el agua no es apta para su empleo, la pasa por ciertos procesos que la convierte en útil; son los denominados tratamientos de potabilización.

Pero lo que ocurre con demasiada frecuencia, es el cambio que produce en decremento de calidad, del que muchas veces no es tan culpable como se piensa.

La culpabilidad que ahora se le asigna, se debe al volumen de desechos en relación a la capacidad dilutora y de autodepuración de los cuerpos receptores, ya que antiguamente se seguía la práctica tan criticable actualmente, de verter los efluentes directamente sin tratamiento a las corrientes.

Lo que ocurre es que se ha roto el equilibrio ecológico que gobierna esos fenómenos. Intervienen en ésto dos grandes y primordiales factores: 1) el rápido incremento poblacional mundial que ha llevado a un número de habitantes considerado como alarmante; y 2) el volumen disponible de agua directamente utilizable en procesos vitales, sumamente reducido en relación a la totalidad del agua en el planeta.



## Evaluación de la contaminación.

A fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad, se hace uso de ciertos parámetros característicos que rigurosamente pudieran llegar a ser del orden; sin embargo, no todos son comunes y se reducen para los casos prácticos, a solo unos 15, entre los que se halla OD, DBO, pH, temperatura, turbiedad, C. E., NMP coliforme y plancton, además de los que pudieran servir en particular y según los objetivos del estudio como: ~~detergentes, metales pesados y sustancias tóxicas.~~ Por ejemplo, si el agua que se investiga sostiene una vasta extensión agrícola, será distinta a la destinada para recreación; de todas maneras, subsisten parámetros comunes que son precisamente los mínimos a que se han hecho referencia.

El tipo y forma de análisis a que se someten las muestras, dependen de la magnitud del proyecto, recursos económicas y algo que siempre se escatima: el tiempo disponible.

Es deseable que la investigación se proyecte a tiempos que lleguen a cubrir la intervención de los fenómenos naturales como lluvias, días soleados, cambios de temperatura, ambiente, vientos, etc.; lo que en muchos casos se logra en apenas un año completo. Peor será cuando se incluyan ciclos ~~estacionales~~ del plancton, peces y crustáceos.

~~El número y frecuencia de los muestreos~~ debe ser objeto de estudios minuciosos que finalmente definan el plan a seguir durante la etapa de investigación, ya que de esta información se derivarán los resultados y medidas correctivas a emplear. Es aquí donde debe considerarse el aspecto económico porque implica muchas veces el uso de equipo especializado, personal competente y experimentado así como laboratorios fijos o móviles con todos los elementos para efectuar los análisis solicitados.

Rigurosamente con esta actividad se terminaría la fase de evaluación puesto que la tabla de resultados de los análisis físicos, químicos, biológicos y microscópicos realizados, podrán compararse con los aceptables para el uso a que se destina esa agua y con ello, definir la forma de eliminar o disminuir los parámetros que se consideran en demasía.

Pero falta algo muy importante que no debe descuidarse; se trata por un lado, de ~~definir la causa que origina esa situación~~ y por otro, conocer la etapa en que se desarrollan esos fenómenos por efecto de la contaminación en cuanto a que ~~si pudieran incrementarse o tenderían a desaparecer.~~

Lo primero llevaría a evitar o controlar la acción que provoca disturbios; implica que desde la planeación del estudio, se efectúe la investigación correspondiente cubriendo una área que en forma extrema es la misma cuenca de captación. Lo segundo también resulta de la comparación de los datos que arrojan las diferentes estaciones de muestreo.

#### Disturbios ecológicos en aguas contaminadas.

Los efectos que origina una descarga contaminante en un río, son con ligeras modificaciones dadas sus características, los mismos que suceden en un lago; solamente que se reflejan mejor en una corriente, por intervenir directamente como función de la longitud recorrida por el agua o del tiempo transcurrido desde el origen de la contaminación. Al explicarse estos disturbios, también se explica lo que es el proceso natural de autodepuración de las aguas; fenómeno mediante el cual se resguarda la calidad natural y que es aprovechada bajo procesos acelerados en las plantas para el tratamiento de aguas negras o desechos industriales.

Es típico de los lagos y no de los ríos el fenómeno de eutroficación que consiste en una sobreproducción de plantas acuáticas, principalmente del fitoplancton, que origina serios cambios físicos, químicos y biológicos en el agua, como consecuencia de adicionar nutrientes tales como fosfatos y nitratos, entre los desechos contaminantes.

La aparición en ciertos lagos y presas del lirio acuático en forma exuberante no es desconocido, así como tampoco lo problemas que causa en las propelas de los motores de las lanchas, haciendo que la navegación prácticamente se nulifique. No es éste el principal efecto, pero sí el más directo e inmediato. lo peor ocurre en el propio seno del agua al impedir la penetración de los rayos solares que auspician la disminución del proceso fotosintético provocando así la asfixia de peces, que junto con otros desperdicios vegetales, constituyen materia orgánica pronta a descomponerse. Al hacerlo se incrementa la DBO y por tanto, la todavía más acelerada disminución del OD.

Así, se podría llegar a provocar una anaerobiosis, dando lugar a procesos sépticos tan ofensivos en todos sus aspectos, que se evitaría el uso recreativo y de natación, nulificaría la productividad pesquera, obstruiría los canales de irrigación y disminuiría la navegación.

## Evaluación de los efectos ambientales.

Los cambios que se provocan por contaminar un agua, son claros cuando ya ocurren y es fácil de esa manera llegar a cuantificar lo que provocan desde los puntos de vista ecológicos, estéticos, económicos, sociales, culturales, y a los aspectos más específicos como piscicultura, agricultura, minería, etc.

Siendo tan frágil el ambiente y su ecología, cualquier cambio que se haga lo llega a afectar, así entonces, no es solamente la contaminación de las aguas lo que se debe considerar, sino también toda obra que ejecute el hombre. Esto ha dado origen a una metodología que con las debidas adaptaciones sirve para evaluar los efectos que pudieran provocarse en el ambiente, debido a un proyecto determinado. Se subraya proyecto, porque este estudio debe efectuarse antes y no después de la ejecución de la obra. En el caso de contaminación, deben preverse los efectos que pudiera ocasionar una descarga de ciertas características analizada en forma general auxiliado por las metodologías existentes. Conocido el resultado podrá indicarse bajo que condiciones se permitiría su vertido, incluyendo calidad, caudal y régimen.

**El Ciclo Hidrológico** desde el punto de vista de la contaminación.

### a) Lluvia

El vapor de agua condensada en nubes y precipitado en forma de lluvia, es prácticamente puro en altitudes muy grandes. A medida que cae la lluvia absorbe oxígeno, CO<sub>2</sub> y otros gases del aire, así como polvo, humos y vapores; recoge también las bacterias y esporas y vegetales que se encuentran en el aire.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al principio de la precipitación y menor al final. La lluvia que cae en el campo es más limpia que la que precipita en las ciudades; después de una sequía o en una región árida contiene más partículas de polvo que durante la temporada de lluvias o en un lugar sujeto a muchas precipitaciones. Generalmente estas impurezas tienen poco significado sanitario.

## b) Agua superficial

La lluvia al escurrir por la superficie terrestre hacia el mar, ríos, o lagunas, lleva consigo gran cantidad de materia que depende del área y carácter de la cuenca, geología, topografía, extensión y desarrollo realizado por el hombre, época del año y condiciones del tiempo. El agua de las corrientes es generalmente más variable y menos satisfactorias que las de las lagunas y lagos. El agua de regiones calcáreas es más dura pero menos corrosiva que el agua de regiones graníticas. Las fuentes superficiales en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas negras y desperdicios industriales.

## c) Corrientes de agua

Durante los períodos de grandes precipitaciones el caudal de las corrientes consta principalmente de agua superficial. En esas temporadas el agua puede ser lodosa, relativamente suave y con un alto contenido de bacterias. En tiempo de sequías el caudal de los ríos contiene una mayor proporción de aguas del subsuelo, por lo cual es más dura que en otras temporadas; las corrientes sujetas al peligro de contaminación por el hombre o sus actividades, pueden tornarse en defectuosas debido a la sobrecarga con materia orgánica putrecible.

La clase de materiales llevados por las corrientes depende del material y carácter de la superficie, de la inclinación de los declives del valle, del área y tipo de los bosques, pantanos y de la cantidad y clase de cultivos. Los suelos arcillosos producen corrientes lodosas y las tierras pantanosas dan notable color al agua. Las corrientes en zonas con fuertes pendientes, provocan arrastres cuyo resultado es la erosión y mayor contenido de limo en sus aguas.

Los bosques funcionan como retardadores del escurrimiento y tienden a uniformizar el caudal de la corriente; pero en bosques con elementos de hojas caidizas provocan aguas con color, en mayor proporción que los que se mantienen siempre verdes.

Los escurrimientos que atraviesan zonas de cultivo llevan limo y partículas de fertilizantes, mientras que las que atraviesan pastizales llevan estiércol y otros desechos orgánicos. En el otoño mucha vegetación muerta es llevada por el viento, o por los escurrimientos a las corrientes; en cuencas relativamente poco pobladas llevan considerable contaminación de tipo natural.

Los minerales de las corrientes proceden no solamente de los escurrimientos que adquieren estas sustancias en la superficie del suelo sino también de la disolución en el agua subterránea. Estos minerales solubles aumentan la alcalinidad y la dureza del agua según las cantidades relativas de agua subterránea y agua superficial y el carácter de la formación geológica.

Desde el punto de vista sanitario la contaminación por el hombre o producto de sus actividades, es más significativa. En regiones poco pobladas la contaminación humana es relativamente indirecta, incidental o accidental. En regiones pobladas, la contaminación por aguas negras o desechos industriales es directa. Esta contaminación puede contener gérmenes patógenos por las excreciones humanas o sustancias tóxicas provenientes de los desechos de fábricas.

El grado de deterioro de una corriente es aproximadamente proporcional a la densidad de población en la zona de captación. Como resultado final, la contaminación "natural" y la provocada por el hombre, producen el color, turbiedad, sabores y olores, dureza, bacterias y otros microorganismos en el agua.

La descomposición de los depósitos de materia orgánica en el fondo de las corrientes tienen también un efecto adverso sobre el color, sabor, contenido de hierro y bióxido de carbono.

Las condiciones climatológicas, geográficas e hidrográficas, se encuentran entre los factores que afectan los caracteres físicos, químicos y biológicos de las corrientes de agua. Existen causas naturales que tienden a purificar las corrientes contaminadas y entre ellas se encuentra la cantidad de agua que lleva la corriente en avenidas, que lavan el lecho al arrastrar la materia orgánica depositada, que al descomponerse, alteraría la calidad del agua. Las corrientes rápidas y poco profundas tienen mayor capacidad de autodepuración que las corrientes lentas y profundas, aunque en este último caso la sedimentación puede reducir con más efectividad las materias en suspensión y con ellas las bacterias.

#### d) Lagunas y lagos.

El agua que llega a las lagunas y a los lagos es la de las corrientes tributarias. En estos sitios el agua está relativamente quieta; los notables cambios en la calidad se deben a la fuerza de autopurificación. El grado y el carácter de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire. Un largo almacenamiento permite mejor la sedimentación de las materias en suspensión la aclaración del color y la remoción de bacterias; por lo tanto, las aguas almacenadas son de una calidad más uniforme que las de los ríos directamente.

La acción del oleaje produce aguas turbias en la orilla y en algunos casos el crecimiento de organismos microscópicos puede ser considerable en este tipo de agua.

Generalmente en los grandes lagos, la dilución y la autopurificación aseguran la buena calidad de agua que se encuentra lejos de las orillas, a menos que se produzca una contaminación localizada y pasajera debido al movimiento de embarcaciones.

En lagos chicos, la autopurificación es menos completa que en los grandes. En pequeñas lagunas se facilita el crecimiento de algas.

e) Embalses.

Los embalses formados por diques a través de los valles cortados por corrientes, están sujetos a las mismas consideraciones que los lagos y lagunas naturales. Cuando se construyeron los primeros depósitos se arrancaba toda la vegetación del fondo y se quitaba la capa superficial de la tierra para evitar los efectos de la descomposición de la materia orgánica. En los métodos más recientes, se omite la remoción de la tierra y se confía en la elección del punto de admisión y en el tratamiento, para asegurar la calidad satisfactoria del agua; sin embargo, se llegan a tener serios problemas como el narrado por el Ing. Pedro J. Caballero sobre la gran mortandad de peces ocurrida en el inicio de operación de la Presa Miguel Alemán. El motivo fue la inundación, a causa de una avenida del Río Tonto, de una extensa área de vegetación y bosque que cubría el área del vaso; al entrar en descomposición como materia orgánica, consumió la casi totalidad del oxígeno disuelto en el agua provocando la asfixia de los peces. El fenómeno se extendió aguas abajo de la Presa hasta el Río Papaloapan. Económicamente el daño fue muy fuerte para pobladores que dependen en gran parte de la pesca, dando origen además a muy variadas explicaciones del fenómeno.

Una vez que se establece el equilibrio, normalmente el agua de mejor calidad se encontrará a una profundidad media. El agua de la parte superior es propensa a desarrollar algas. El agua del fondo puede contener gran cantidad de CO<sub>2</sub>, Fe, Mn y a veces H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En lagos y embalses profundos el agua del fondo permanece fría durante todo el año porque se produce una zona permanente de relativo estancamiento a profundidades abajo de 6 m. aproximadamente.

#### f) Agua subterránea.

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se infiltra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, algunas de éstas son fácilmente solubles en el agua, otras como la que causa la alcalinidad y la dureza son solubles en aguas que contienen CO<sub>2</sub> obtenido del aire o de la materia orgánica en descomposición en la tierra. La descomposición de materia orgánica consume el oxígeno disuelto del agua que se infiltra a través de ella. Esta agua exenta de O<sub>2</sub> y con un alto contenido CO<sub>2</sub>, disuelve el hierro y el manganeso del suelo. Las aguas que contienen Fe y Mn favorecen el desarrollo de bacterias del género Crenotrix y otros organismos similares en los depósitos de agua subterránea almacenada; a veces en las aguas subterráneas se produce ácido sulfúrico cuando hay ausencia de oxígeno, descomposición de materia orgánica o reducción de sulfato.

Quando los suelos están agrietados, ocurre una contaminación directa con la materia orgánica que existe en la superficie.

Las condiciones sanitarias en la proximidad de las fuentes del agua subterránea son importantes, en particular cuando la contaminación en el subsuelo proviene de letrinas, pozos de absorción y albañales con fugas. En general las aguas subterráneas son claras, frías, incoloras y de mejor calidad que las aguas superficiales de la región en la cual se encuentran. Con respecto a las bacterias, las aguas subterráneas son mucho mejores que las aguas superficiales, salvo en los lugares donde existe contaminación directa.

#### g) Manantiales.

Las aguas de manantial provenientes de estratos someros, se ven más afectados por la contaminación superficial que las aguas profundas. En general sus características de calidad, reflejan la formación geológica del lugar en que surgen; normalmente la cantidad de agua que se obtiene de los manantiales es limitada y puede decirse que su calidad es muy semejante a lo que se ha indicado en las aguas subterráneas.

#### h) Pozos someros y galerías filtrantes.

La calidad del agua proveniente de un pozo que capte agua de estratos someros, estará condicionada principalmente al carácter de la zona de captación. Los pozos someros debidamente protegidos con materiales impermeables satisfactorios, producirán agua de buena calidad.

Las galerías filtrantes como los pozos someros, permiten la infiltración de aguas cuya calidad estará supeditada al tipo de fuente que la alimenta. En general el agua proveniente de la galerías tienen los mismos caracteres indicados para los pozos someros.

#### i) Pozos profundos.

Las aguas de pozos profundos son generalmente limpias y sin color pero contienen frecuentemente Fe y Mn, cuando entran en contacto con el aire estas aguas, toman un color característico debido a la oxidación de estos metales. Algunas aguas de este tipo tienen un alto contenido de CO<sub>2</sub>. Las aguas de pozos profundos son generalmente buenas desde el punto de vista bacteriológico. Una contaminación temporal puede ocurrir durante la perforación o instalación de equipo y es preciso, por lo tanto, dejar pasar algún tiempo después de terminado el pozo, para conocer la calidad exacta del agua extraída.



## LA CONTAMINACION DEL AGUA

Con frecuencia la contaminación del agua es un doble problema para las industrias; por lo general es necesario que las plantas industriales acondicionen el agua antes de usarla, así como también tratar el agua de desecho después de usarla. El pretratamiento del agua es necesario para evitar ciertos problemas.

La siguiente es una lista parcial de algunos de los contaminantes comunes y de las dificultades que causan.

**Alcalinidad:** Son típicamente bicarbonatos, carbonatos y sales caústicas.

**Problemas:** genera incrustaciones, particularmente en calderas.

**Dureza.-** Primariamente son sales de calcio y magnesio; otras sales por ejemplo hierro son también contribuyentes menores.

**Problemas:** incrustaciones, especialmente en calderas.

**Sales de sodio.-** A veces como sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos

**Problemas:** muy malos para industrias particulares, como las de celulosa y medicamentos.

**Silice (SiO<sub>2</sub>).**-

**Problemas:** incrustaciones

**Hierro y Manganeso.-**

**Problemas:** tienden a manchar. Muy objetable en las industrias del papel, téxtil y de curtiduría.

**Aluminio.-**

**Problemas:** por lo general no es un problema para propósitos industriales.

Las descargas de agua de varias industrias tienen muchos de los mismos problemas, mas algunos adicionales, el tipo de contaminante depende de la industria particular y del proceso empleado. Estos contaminantes pueden clasificarse en tres categorías.

1.- Materias flotantes.- Los materiales flotantes típicos pueden ser aceites y grasas, que puedan tener las siguientes consecuencias:

- . enturbian el agua;
- . retardan el crecimiento de plantas acuáticas por el bloqueo de la luz solar y la interferencia con la reareación natural;
- . destruye la vegetación natural en las riberas o márgenes;
- . con frecuencia son tóxicos a los peces y otra vida acuática;
- . destruyen las aves acuáticas;
- . pueden ser un peligro de fuego.

2.- Materia suspendida.- Un ejemplo común de materia suspendida son las "colas" de minerales, que típicamente forman fango y lodos, que ahogan los microorganismos purificadores y arruinan el desove de peces y crías; si la materia suspendida es orgánica, podría descomponerse usando el oxígeno disuelto y producir olores y gases nocivos.

3.- Impurezas disueltas.- Las sustancias disueltas típicas pueden ser ácidos, alcalis, metales pesados e insecticidas; en general, éstas sustancias hacen al agua no-potable y destruyen la vida acuática, por ejemplo, los fenoles, aún en muy bajas concentraciones (0.001 mg/l), dan un sabor y olor muy objetable. Estas sustancias pueden también producir y concentrar sus efectos a través de la cadena normal de alimentos, por ejemplo, un sabor desagradable se tiene cuando se come pescado que ha vivido en agua con concentraciones de fenol de solo 0.0001 mg/l.

No se conoce mucho acerca de los efectos sobre la salud humana de muchos de los contaminantes comunes del agua; los nitratos han sido relacionados con la metahemoglobina y la muerte de niños.

La ingestión de nitratos puede ser reducido por microorganismos en el tracto digestivo a nitritos:

NO<sub>3</sub>- microorganismos NO<sub>2</sub>-

Los nitritos pueden oxidar el átomo de hierro presente en la hemoglobina de Fe 2+ a Fe 3+, resultando una molécula de metahemoglobina que no es capaz de transportar O<sub>2</sub>.

El uso intencional de sistemas de suelos para filtrar y absorber desechos y remover aún bacterias y virus ha tenido alguna aplicación limitada industrial; con frecuencia, los sistemas de suelos pueden degradar compuestos indeseables a iones estables, normalmente encontrados en el agua subterránea, por ejemplo a nitratos, fosfatos, carbonatos y sulfatos.

Por otra parte, algunos iones de cromatos, fenoles y muchas otras sustancias tóxicas no son degradadas y pueden migrar muchos kilómetros bajo tierra, contaminando suministros de agua lejos de la fuente contaminante.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL.

MOD. I

TEMA: REGULACIONES QUE GOBIERNAN LAS EMISIONES  
CONTAMINANTES.

EXPOSITOR

Y

AUTOR: ING. FRANCISCO

ESCALANTE  
MTZ.

# LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

## INTRODUCCION

Ing. Fco. Escalante Mtnz.

## LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

La manera civilizada de lograr que un conglomerado humano actúe de la manera mas benéfica o menos perjudicial para sus semejantes, es el establecimiento de normas de convivencia cuya observancia es obligatoria. De esta manera se da a conocer las conductas que son reprobadas por la sociedad y las sanciones a que se hace acreedor aquel que transgrede las reglas impuestas por la comunidad.

En el último siglo fué cada vez mas evidente que varias actividades humanas estaban afectando negativamente el entornoy que las consecuencias de dichas actividades podrían afectar y estaban afectando a las personas, los animales y vegetales, los bienes y las propias posibilidades de supervivencia. En virtud de que no todos percibian los efectos y daños actuales y probables en el futuro, fué necesario legislar en esta materia.

La legislación ambiental mexicana es un conjunto de leyes, reglamentos, normas, ordenanzas, bandos, etc. que delimitan las actividades de personas físicas y morales en lo que pueden afectar al medio y al equilibrio ecológico, y facultan a diversas autoridades para intervenir en esta materia, promulgando la legislación necesaria, vigilando su cumplimiento y sancionando las violaciones.

Aunque se piensa que la legislación ambiental es relativamente nueva en México, se tienen antecedentes bastante antiguos, siendo uno de los primeros el REGLAMENTO PARA ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES O COMERCIALES, MOLESTOS, INSALUBRES O PELIGROSOS, promulgado en Noviembre de 1940 por el Presidente Lázaro Cárdenas.

Este reglamento fijaba límites que no están muy alejados de los valores y criterios actuales, ya que incluía los límites siguientes:

SONIDOS	(65 dB de 8:00 a 22:00)
TREPIDACIONES	( grado 3 escala Mercalli)
TEMPERATURA	(variaciones de +/- 2 C)
LUCES	( > 500 Lux continua, o > 250 Lux intermitente)
POLVOS	
CHISPAS	(Que penetren y ensucien)
HUMOS	
VAPORES	(que aumenten Temp (C): 20-25-30 y humedad (%): 60-45-40)
MALOS OLORES	

En fechas recientes, tras advertir que el problema ambiental se tornaba cada vez mas grave, y justo a tiempo para llevar la noticia a la primera reunión mundial sobre medio ambiente celebrada en Helsinki bajo el lema de "una sola tierra", se

# LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO
- ECOLOGICO Y LA PROTECCION
- AL AMBIENTE

Ing. Fco. Escalante Mtnz.

6-A



LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO  
Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

ASPECTOS RELEVANTES

TITULO PRIMERO.- DISPOSICIONES GENERALES

CAPITULO I NORMAS PRELIMINARES

Define como objeto de la ley:

- I Definir la política ecológica y regular su aplicación.
- II El ordenamiento ecológico.
- III La preservación, restauración y mejoramiento del ambiente.
- IV Protección de áreas naturales, flora y fauna silvestre y acuática.
- V Aprovechamiento racional de elementos naturales compatible con equilibrio de ecosistemas.
- VI Prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.
- VII Concurrencia de Federación, Estados y Municipios.
- VIII Coordinación entre dependencias y entidades federales con la sociedad.

El título primero contiene también definiciones, entre las

cuales conviene destacar:

**APROVECHAMIENTO RACIONAL:** Utilización eficiente de elementos naturales, socialmente útil, que procure su preservación y la del ambiente.

**CONTINGENCIA AMBIENTAL:** Situación de riesgo por actividad humana o fenómenos naturales que pueda poner en peligro uno o varios ecosistemas.

**DESEQUILÍBRIO ECOLÓGICO:** Alteración de relaciones de interdependencia entre elementos naturales del ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**EMERGENCIA ECOLÓGICA:** Situación, que al afectar severamente sus elementos, pone en peligro uno o varios ecosistemas.

**IMPACTO AMBIENTAL:** Modificación del ambiente ocasionada por acción del hombre o de la naturaleza.

**REGION ECOLÓGICA:** Unidad del territorio nacional con características ecológicas comunes.

Este título delimita también facultades y atribuciones de las diversas autoridades, definiendo como **ASUNTOS DE CARACTER FEDERAL:**

Formulación y conducción de política general ecológica, criterios ecológicos generales y expedición de normas técnicas.

Los que por su naturaleza o complejidad lo requieran.

Acciones ecológicas en bienes y zonas de jurisdicción federal.

Originados en otros países, que afecten la ecología del territorio nacional o zonas de soberanía o jurisdicción nacional; o los Originados en territorio nacional, que afecten la ecología de otros países.

Que afecten al equilibrio ecológico de dos o mas entidades federativas.

Prevención y control de emergencias ambientales, regulación de actividades altamente riesgosas.

Creación y administración de áreas naturales protegidas, protección de flora y fauna, y protección de la atmósfera en zonas federales.

Aprovechamiento racional y prevención de la contaminación de aguas federales, de recursos forestales y suelo según su vocación; del subsuelo.

Regulación de actividades relacionadas con materiales y residuos peligrosos y prevención y control de la emisión de contaminación por ruido, vibraciones, energía lumínica y olores perjudiciales.

Los demás que marquen las leyes.

#### COMPETENCIA DE ESTADOS Y MUNICIPIOS

A los estados y municipios les corresponde dentro de su territorio, excepto cuando se trate de asuntos o fuentes de

jurisdicción federal:

Formulación de política y criterios ecológicos particulares, congruentes con las federales.

Preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

Prevención y control de emergencias ecológicas y contingencias ambientales, solos o coordinados con la federación.

Regulación de actividades NO altamente riesgosas, cuando puedan afectar ecosistemas o ambiente en la entidad.

Prevención y control de la contaminación atmosférica.

Establecimiento de medidas para que se cumpla la prohibición de emisiones que rebasen los límites por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica y olores perjudiciales.

Regulación del aprovechamiento racional y la prevención y control de la contaminación del agua de su jurisdicción y de las federales que tengan concesionadas para servicios públicos.

Ordenamiento ecológico de asentamientos humanos, según la Ley General de Asentamientos Humanos y disposiciones locales.

Regulación con fines ecológicos del aprovechamiento de minerales o sustancias (no federales) del suelo, como rocas o sus derivados que solo puedan usarse para

materiales de construcción u ornamentales; y del manejo y disposición final de residuos sólidos no peligrosos.

Preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección ambiental en centros de protección, derivados de los servicios de alcantarillado, limpia, mercados y centrales de abasto, panteones, rastros, tránsito y transportes locales.

Los demás previstos en la Ley.

Los congresos estatales deberán promulgar sus leyes basados en esta Ley, y los municipios sus bandos y reglamentos basados en aquellas, para que en sus jurisdicciones se cumplan las disposiciones de esta Ley.

Las entidades federativas en el ejercicio de sus funciones observarán las disposiciones de esta Ley, de sus reglamentos y aplicarán las normas técnicas.

#### ATRIBUCIONES DE LA SECRETARIA

Asigna a la Secretaría (hoy SEDESOL) las atribuciones enunciadas en el capítulo II (Art. 8º). Agrega que en el Distrito Federal la Secretaría ejercerá las atribuciones enunciadas antes, mientras que el Departamento del Distrito Federal ejercerá las que corresponden a las autoridades locales (Art. 9º); y le asigna también la prevención y control de la contaminación atmosférica por actividades industriales

en la zona conurbada, (que afecten el equilibrio ecológico de 2 o más entidades), con la participación de los estados y, en su caso, de los municipios involucrados (Art.11).

### CAPITULO III (2)

#### *COORDINACION ENTRE LAS DEPENDENCIAS Y ENTIDADES*

#### *DE LA ADMINISTRACION PUBLICA FEDERAL*

Define la Comisión Nacional de Ecología, como un organo permanente intersecretarial, para promover la coordinación entre la Sociedad y el Estado en esta materia (Art. 12).

En caso de emergencias ecológicas, la Secretaría de Gobernación y demás autoridades competentes, propondrán coordinadas con la SEDESOL , las medidas necesarias. También se coordinarán en casos de obras públicas cuando peligre el equilibrio ecológico por causa de desastres por fenómenos naturales o caso fortuito o de fuerza mayor.

CAPITULO IV

*POLITICA ECOLOGICA*

Este capítulo, formado solo por el Artículo V, establece la filosofía de la Ley, basada en el concepto de que los ecosistemas son patrimonio de la sociedad, de los que dependen la vida y las posibilidades productivas del país, por lo que se establece que su aprovechamiento debe asegurar una productividad óptima, sostenida y compatible con el equilibrio e integridad de los ecosistemas.

Atribuye la responsabilidad a las autoridades y a los particulares tanto de las condiciones actuales como de los efectos que puedan presentarse en el futuro y establece los principios a observar para aprovechar los recursos naturales, prevenir el desequilibrio ecológico, el deterioro de la calidad del ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovables.

CAPITULO V

*INSTRUMENTOS DE POLITICA ECOLOGICA*

Enuncia y describe como instrumentos:

- I PLANEACION ECOLOGICA
- II ORDENAMIENTO ECOLOGICO
- III CRITERIOS ECOLOGICOS EN LA PROMOCION DEL

DESARROLLO

- IV REGULACION ECOLOGICA DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS
- V EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL
- VI NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS
- VII MEDIDAS DE PROTECCION DE AREAS NATURALES
- VIII INVESTIGACION Y EDUCACION ECOLOGICAS
- IX INFORMACION Y VIGILANCIA

**TITULO SEGUNDO - AREAS NATURALES PROTEGIDAS**

CAPITULO I

*Que trata de las CATEGORIAS, DECLARATORIAS Y ORDENAMIENTO DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS.*

- I TIPOS Y CARACTERES DE LAS A. N. P.
  - I Reservas de la biósfera.
  - II Reservas especiales de la biósfera.
  - III Parques nacionales.
  - IV Monumentos naturales.
  - V Parques marinos nacionales.
  - VI Areas de protección de recursos naturales.
  - VII Areas de protección de flora y fauna.
  - VIII Parques urbanos.
  - IX Zonas sujetas a consevación ecológica.



**II DECLARATORIAS PARA EL ESTABLECIMIENTO,  
CONSERVACION, ADMINISTRACION, DESARROLLO Y  
VIGILANCIA DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS.**

Describe el procedimiento para declarar que alguna zona del país es una A. N. P., por la SEDESOL o alguna otra secretaría, con la participación de Estados y Municipios que correspondan según el caso, incluyendo los estudios previos, y propuesta al Ejecutivo Federal, que si lo considera adecuado, promulgará la Declaratoria correspondiente.

También define el contenido de las Declaratorias, las notificaciones previas a quienes pudieran resultar afectados, la publicación en el Diario Oficial, la forma en que puede ser modificada, la forma en que pueden expedirse licencias, concesiones o autorizaciones para explotación en las mismas, la forma en que deberán administrarse y manejarse y la protección y vigilancia que deben establecerse.

**TITULO TERCERO.- APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS  
ELEMENTOS NATURALES**

- CAPITULO I Aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos.
- CAPITULO II Aprovechamiento racional del suelo y sus recursos.
- CAPITULO III Efectos de la exploracion y explotacion de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico.

**TITULO CUARTO.- PROTECCION AL AMBIENTE**

- CAPITULO I Prevención y control de la contaminación de la atmósfera.
- CAPITULO II Prevención y control de la contaminación del agua y de los sistemas acuáticos.
- CAPITULO III Prevención y control de la contaminación del suelo.
- CAPITULO IV Actividades consideradas como riesgosas.
- CAPITULO V Materiales y residuos peligrosos.
- CAPITULO VI Energía nuclear.
- CAPITULO VII Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual.

TITULO QUINTO.- PARTICIPACION SOCIAL.

Obliga al Gobierno Federal a promover la participación y responsabilidad de la sociedad en lo relacionado con esta

Ley, por medio de:

- I Convocarla para que manifieste su opinión y propuestas.
- II Celebre convenios con organizaciones obreras para la protección del ambiente en centros de trabajo y unidades habitacionales, así como con organizaciones campesinas y comunidades rurales, organizaciones empresariales, instituciones educativas y académicas, organizaciones civiles e instituciones privadas no lucrativas.
- III Promover convenios con medios de comunicación masiva para la difusión, información y promoción, buscando la participación de artistas, intelectuales, científicos y otras personalidades.
- IV Promover el reconocimiento a los esfuerzos mas destacados de la sociedad.
- V Impulsar el fortalecimiento de la conciencia ecológica, mediante acciones conjuntas con las comunidades.

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

- CAPITULO I      Observancia de la Ley.
- CAPITULO II     Inspección y vigilancia.
- CAPITULO III    Medidas de seguridad.
- CAPITULO IV     Sanciones Administrativas.
- CAPITULO V      Recurso de inconformidad.
- CAPITULO VI     De los delitos de orde federal.
- CAPITULO VII    Denuncia popular.

**ARTICULOS TRANSITORIOS**

- I      La Ley entró en vigor el 01.03.88.
- II     Se abrogó la Ley Federal de Protección al Ambiente del 30.12.81.  
  
Hasta en tanto que las legislaturas locales dicten sus leyes, reglamentos ordenanzas y bandos, corresponderá a la Federación aplicar la Ley.
- III    Mientras que se expiden los reglamentos de esta Ley, seguirán vigentes los reglamentos de la Ley Federal de Protección al ambiente abrogada.
- IV    Los procedimientos y recursos administrativos que estaban en proceso, se tramitarían y resolverían conforme a la Ley abrogada.

---

## LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

- REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL
- EN MATERIA DE PREV. Y CONT.
- DE LA CONT. ATMOSFERICA

ANALISIS DEL  
REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO  
Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA  
DE PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA.

Por Ing. Fco. Escalante Martinez.  
Director técnico de SCAMEX, S. A.

En este análisis se presenta una síntesis de las disposiciones contenidas en el reglamento y a continuación se anotan los comentarios al respecto. No se ha respetado el orden en el que los temas se presentan en el reglamento, para reunir en bloques lógicos su contenido; se indican entre paréntesis los artículos que se refieren a cada asunto.

Este reglamento se publicó en el diario oficial de la federación el día 25 de noviembre de 1988, entro en vigor al día siguiente (I transitorio) y abrogó al anterior reglamento del día 17 de septiembre de 1971 (II transitorio). Consta de 52 artículos ordinarios y seis transitorios, distribuidos en los capítulos siguientes:

DISPOSICIONES GENERALES.

DE LA EMISION DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA GENERADA POR  
FUENTES FIJAS.

DE LA EMISION DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA GENERADA POR  
FUENTES MOVILES.

DEL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION DE LA CALIDAD DEL AIRE.

DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y DE SEGURIDAD Y SANCIONES.

CAPITULO I

En el primer capítulo se establecen definiciones, atribuciones y competencias de las diferentes autoridades, destacando el hecho de que de acuerdo con la Ley Federal, la competencia en esta materia se reparte entre la Federación, las Entidades Federativas y las Municipales.

DEFINICIONES:

Se definen; Emisión, fuente nueva, fuente fija, fuente móvil y múltiple, inmisión; Ley, Reglamento, secretaria, Verificación y Zona crítica. De ellas conviene destacar:

Fuente Nueva: En la que se instale por primera vez un proceso o se modifiquen los existentes. (Al modificar procesos, la fuente existente se convierte en fuente nueva.)

Fuente Multiple: La que tiene dos o mas ductos o chimeneas con descargas de un solo proceso. (No estando definido Proceso, hay controversia en la interpretación de esta definición.)

Inmisión: "La presencia de contaminantes en la atmósfera a nivel de piso." (No se aclara si es dentro o fuera del predio, pero se asume que es interior).

Zona crítica: Aquella en la que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes.

COMPETENCIA:

SEDUE:

Las atribuciones de este reglamento serán ejercidas concurrentemente por la Federación, los Estados y los Municipios (2). A la Federación a través de la SEDUE (hoy SEDESOL) le corresponde lo siguiente (3):

- I Formular criterios ecológicos.
- II Asuntos "por su naturaleza o complejidad"
- III Acciones en bienes y zonas de jurisdicción federal.
- IV Los originados en otros países, que afecten nuestro territorio o zonas bajo nuestra soberanía

y jurisdicción.

- V Los que se originen en nuestro territorio o jurisdicción.
- VI Los que afecten a dos o mas Entidades Federativas.
- VII Zonas o fuentes emisoras de jurisdicción federal.

Entre las facultades que se describen (7) conviene destacar como novedoso:

La expedición de normas técnicas ecológicas (NTE) para limitar emisiones, para certificación de emisiones contaminantes y para calidad de combustibles y energéticos. Estas Normas han sido derogadas por la Ley Federal de Metrología y Normalización, que hizo obligatorio transformarlas en Normas Oficiales Mexicanas.

También le compete a SEDUE: VIGILAR el cumplimiento del reglamento y la observancia de las NTE en las zonas y fuentes de su jurisdicción, CONVENIR o requerir la instalación de equipos de control con quienes realizan actividades contaminantes, FOMENTAR Y PROMOVER ante otras autoridades el uso de metodos, procedimientos, partes, componentes y equipos reductores de la contaminación. (Se reconoce en el reglamento, que los convenios son una via adecuada para atacar los problemas de la contaminación.)

Le corresponde tambien a SEDUE: PROMOVER la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles menos contaminantes y que al definir los usos del suelo se considere la compatibilidad de las actividades industriales con otras productivas y se tomen en cuenta las condiciones topográficas y meteorológicas;

PRESTAR asistencia técnica a los gobiernos estatales y municipales, dictaminar sobre el otorgamiento de estímulos fiscales;

PROMOVER la incorporación de contenidos ecológicos en los programas de las Comisiones Mixtas de Seguridad e Higiene, así como en los programas de capacitación y adiestramiento. (Atribuciones lógicas y normales, exceptuando la relativa a las Comisiones Mixtas de Seguridad e Higiene, cuya ejecución parece difícil y delicada.)



Deberá también EXPEDIR los formatos y manuales necesarios y vigilar el cumplimiento de los procedimientos de verificación, y en el Departamento del Distrito Federal ejercerá las atribuciones que se asignan a los Estados y Municipios (9).

ENTIDADES FEDERATIVAS:

A las Entidades Federativas, dentro de sus territorios les corresponde (4):

Formular criterios ecológicos particulares congruentes con los de la federación.

Preservación y restauración del equilibrio ecológico en bienes y zonas de su jurisdicción.

Prevención y control de la contaminación atmosférica en las zonas de su jurisdicción.

Preservación y restauración del equilibrio ecológico y Protección del ambiente en los centros de población, relacionados con los servicios que prestan.

Se prevee que mediante "instrumentos de coordinación", las autoridades locales participen "como auxiliares" en asuntos de la Federación.

En este reglamento se conceden a los gobiernos locales en su jurisdicción, atribuciones similares a las de la federación, En la reglamentación anterior, solo la Federación tenía atribuciones y las autoridades locales solo podían ser auxiliares, lo mismo que podrán ser ahora en asuntos de competencia federal (5).

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (8).

A esta Secretaría le corresponde establecer los programas de verificación de vehículos del transporte público federal, autorizar el establecimiento de centros de verificación y llevar el registro de los mismos, determinar las tarifas por servicios de verificación y expedir las calcomanías de baja emisión.

DISTRITO FEDERAL (9).

En el Distrito Federal la SEDUE ejercerá las atribuciones de la Federación que le corresponden y el

FRANCISCO ESCALANTE MARTINEZ

D.D.F. las designadas para las autoridades locales, incluyendo la prevención y control de la contaminación por fuentes fijas QUE NO FUNCIONEN como establecimientos mercantiles y espectáculos públicos, establecer y operar sistemas de monitoreo.

Al DDF le corresponde PREVENIR Y CCONTROLAR la contaminación por fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles y espectáculos públicos, OPERAR la red regional de laboratorios de análisis de la contaminación atmosférica, que no son "sistemas de monitoreo de la contaminación atmosférica", DETERMINAR criterios ecológicos para incorporarlos a programas de desarrollo urbano, PARTICIPAR en la formulación y ejecución de programas especiales para la restauración del equilibrio ecológico en areas desequilibradas. Tambien le corresponde VIGILAR la observancia de las DECLARATORIAS del ejecutivo Federal, para regular las actividades que generen contaminación, OBSERVAR las NTE en la prestación de servicios públicos, INSPECCIONAR, VIGILAR E IMPONER SANCIONES, en asuntos de su competencia.

Se limita considerablemente el campo de acción del DDF y como se verá mas adelante, quedan fuera de su jurisdicción las industrias.

RESPONSABLES (10).

Serán responsables del cumplimiento del Reglamento y de las NTE las personas físicas o morales, públicas o privadas, que realicen o pretendan realizar actividades que emitan a la atmósfera olores, gases o partículas solidas o liquidas.

ZONAS DE JURISDICCION FEDERAL (11):

Se determinan como zonas de jurisdicción federal las siguientes:

Terminales de transporte público federal.  
Parques industriales ubicados en bienes del dominio público de la Federación.  
Zona federal maritimo-terrestre.

FUENTES DE JURISDICCION FEDERAL.

Instalaciones, obras, actividades industriales, comerciales y de servicios de dependencias y entidades federales.

Industria del asbesto.

Industria de la zona conurbada del D.F.

Obras o actividades de un Estado que afecten a otro u otros (cuando así lo determine la SEDESOL o lo solicite a la Federación el Estado afectado).

Obras o actividades nacionales, que puedan afectar a otros países.

Vehículos automotores hasta que salgan de la planta productora.

Transporte público federal.

Las que por su naturaleza o complejidad lo requieran.

#### ACTIVIDADES PRIORITARIAS PARA ESTIMULOS FISCALES (12):

Adquisición, instalación y operación de equipos de control de emisiones.

Fabricación, instalación y mantenimiento de equipos de filtrado, combustión, control y tratamiento de emisiones.

Investigación de tecnología para disminución de la generación de emisiones contaminantes.

Ubicación y relocalización de instalaciones fuera de zonas urbanas.

#### CRITERIOS DE PROTECCION ATMOSFERICA (13)

La calidad del aire debe ser satisfactoria en todo el país.

Las emisiones contaminantes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas o controladas para garantizar una calidad satisfactoria del aire

### CAPITULO II

De la emisión de contaminantes por fuentes fijas.

Las emisiones de fuentes fijas no deberán exceder los niveles máximos permitidos de emisión e inmisión, establecidos en las Normas Técnicas Ecológicas (16). La Ley de Metrología y Normalización vigente derogó, junto con otras muchas, las Normas Técnicas Ecológicas, que se han venido transformando en Normas Oficiales Mexicanas ó Normas Mexicanas, por el procedimiento establecido en el que se dá acceso a todos los interesados en el tema de que se trate.

Se podrán establecer diferentes niveles máximos permintidos, para un mismo contaminante o fuente, para:

FRANCISCO ESCALANTE MARTINEZ

Fuentes existentes.  
Fuentes nuevas.  
Fuentes en zonas críticas.

Los emisores de olores, gases o partículas líquidas o sólidas estarán obligados a:

Emplear equipos y sistemas de control de emisiones para que no rebasen los límites permitidos.  
Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes, en el formato que determine la SEDESOL.  
Instalar plataformas y puertos de muestreo.  
Medir sus emisiones, registrar los resultados en el formato de la SEDESOL y remitirselos cuando lo solicite.  
Monitorear perimetralmente sus emisiones cuando se ubique en zonas: urbanas o suburbanas, colindantes con áreas naturales protegidas y cuando puedan causar grave deterioro a los ecosistemas.  
Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control.  
Dar aviso anticipado a la SEDESOL del inicio de operaciones en caso de paros programados y de inmediato cuando estos sean circunstanciales.  
Dar aviso inmediato de falla de equipo de control.  
Contar con Licencia de Funcionamiento.

Las fuentes fijas de jurisdicción federal requieren licencia de funcionamiento de SEDESOL, que será de vigencia indefinida (18).

Para obtener la licencia de funcionamiento (19) se requiere presentar a SEDESOL una solicitud con: datos del solicitante, ubicación, descripción del proceso, distribución de maquinaria y equipo, listado de materias primas o combustibles y forma de almacenamiento y transporte, descripción de procesos, productos subproductos y desechos y forma de almacenamiento, cantidad y naturaleza de los contaminantes a emitir, equipos de control y medidas y acciones a ejecutar en caso de una contingencia y el equipo y otras condiciones que determine para prevenir y controlar la contaminación.

La Secretaría dictaminará la solicitud en un plazo de 30 días hábiles desde que tenga toda la información requerida (20). No se indica en este caso, como en el artículo 38, lo que pasa cuando la autoridad no dictamina en tiempo; debe entenderse que en ese caso, queda otorgada la licencia. En la licencia otorgada la SEDESOL precisará: periodicidad de presentación de inventario de emisiones y de mediciones y monitoreos; medidas y acciones en caso de contingencia, y equipo y condiciones para prevenir y

controlar la contaminación atmosférica. Además podrá fijar niveles máximos específicos a fuentes que no puedan encuadrarse en las normas técnicas ecológicas

El responsable de la *fuentes fija con licencia*, deberá remitir anualmente, en el mes de febrero, en el formato que SEDUE determine, una cédula de información con la información y documentación necesaria para la solicitud de licencia (21). Con base en esta información, la Secretaría podrá modificar los niveles máximos específicos que hubieren fijado, cuando: la zona de ubicación se convierta en crítica, existan tecnologías de control de contaminantes a la atmósfera más eficientes y modificaciones a los procesos de producción (22). En la práctica esto equivale a la renovación anual de la licencia de funcionamiento.

Las emisiones que se generen en las fuentes fijas de jurisdicción federal, deberán descargarse por ductos o chimeneas; en caso de no ser posible, el responsable deberá presentar un estudio justificativo para que SEDUE determine lo conducente (22). Es una mejora, contra el criterio anterior de "polvos fugitivos", que dio pie a muchas sanciones injustificadas.

Los ductos o chimeneas deberán tener la altura efectiva necesaria de acuerdo con la NTE correspondiente (24). La altura y otras condiciones quedaron definidas en la NOM-AA-09-1991.

Las mediciones se harán conforme a los procedimientos de muestreo y cuantificación establecidos en las NOM o en las NTE correspondientes. Para evaluar una fuente múltiple, se sumarán las emisiones individuales de las chimeneas existentes (25). Sin la definición de "proceso", esto puede ser motivo de restricciones excesivas.

Solo se permitirá la combustión a cielo abierto, con permiso de la Sria. para adiestrar y capacitar personal de combate contra incendios. Para obtener el permiso deberá presentarse solicitud escrita por lo menos con 10 días hábiles de anterioridad, adjuntando la información siguiente: Croquis de localización indicando construcciones y colindancias próximas y condiciones de seguridad; programa calendarizado precisando fechas y horarios, así como tipos y cantidades de combustibles por incinerar. La Secretaría podrá suspender temporal o definitivamente el permiso en caso de contingencia ambiental. Continúan en vigor las disposiciones anteriores.

FUENTES MOVILES.

El capítulo tercero se refiere a fuentes móviles y comprende la forma de fijar los límites de emisiones (28), las obligaciones de los fabricantes de vehículos a quienes solo se les autorizará la fabricación de unidades que no los rebasen y la forma en que se llevará a cabo la certificación de emisiones, así como de la participación de SECOFI en la verificación del cumplimiento de los procedimientos de verificación (29, 30); y la obligación de los concesionarios del transporte público federal de someterse a la verificación de sus emisiones programada por SCT y publicada en el Diario Oficial y la Gaceta Sedue (31 A 33). También incluye la descripción de la constancia de verificación que será necesaria para obtener la revalidación de la licencia de la matrícula vehicular (34) y el procedimiento en caso de que se rebasen los límites de emisión (35), pudiendo suspender o cancelar el permiso de circular a los vehículos que reincidentemente violen las disposiciones y NTE (36 Y 37).

Se incluyen también los procedimientos para establecer y operar centros de verificación obligatoria, que incluyen la presentación de una solicitud ante la SCT que deberá resolver en un máximo de 60 días naturales; dentro de este plazo la SCT puede promover ante la SEDUE la formulación de un dictamen técnico que deberá ser expedido dentro de un plazo de 30 días naturales. Si transcurre ese plazo si que se emita el dictamen, SE ENTENDERA OTORGADO EN SENTIDO APROBATORIO. El dictamen contendrá la aprobación, las modificaciones que en su caso sean necesarias, o la no autorización del proyecto; así como el plazo (prorrogable) para establecer equipar y operar el centro, transcurrido el cual quedará sin efecto la autorización, en caso de que no se hubiera iniciado la operación.

Resulta novedoso que en este reglamento se reconozca que la falta de respuesta se interprete como respuesta aprobatoria, pues antes ello era posible después de un litigio; la falta de esta definición en lo referente a las solicitudes de licencia de establecimiento ha originado retrasos de varios años en los dictámenes, con el consecuente perjuicio y a veces desaliento de los interesados en establecer industrias de cualquier tamaño.

El capítulo IV trata del SISTEMA NACIONAL DE LA INFORMACION DE LA CALIDAD DEL AIRE, que la Secretaría está obligada a mantener actualizado, integrado con los datos de monitoreo efectuado por las autoridades correspondientes del D. F., Estados y Municipios, con los inventarios y emisiones de fuentes de todas las jurisdicciones.

#### CAPITULO V

En este se establecen "LAS MEDIDAS DE CONTROL Y DE SEGURIDAD Y SANCIONES", señalando que las infracciones administrativas en asuntos de competencia federal se sancionarán con una o más de las siguientes sanciones:

MULTA por el equivalente de 20 a 20,000 días de salario mínimo del D.F.

CLAUSURA que puede ser temporal o definitiva y parcial o total..

ARRESTO administrativo hasta por 36 horas.

Sin perjuicio de las sanciones penales que correspondan en el caso de delitos.

También se establecen sanciones a los centros de verificación de emisiones de vehículos de transporte público federal cuando: no se sigan o se alteren los métodos de verificación, se alteren las tarifas autorizadas y/o dejen de tener la capacidad o condiciones técnicas necesarias.

Si después de las sanciones impuestas y en caso de que se haya concedido un plazo para subsanar las infracciones cometidas, al concluir el plazo subsisten estas, podrán imponerse multas por cada día que transcurra hasta un importe máximo de veinte mil días de salario mínimo. En caso de reincidencia, el monto de las multas podrá duplicar el originalmente impuesto, sin exceder el doble del máximo permitido. SEDUE podrá modificar o revocar la sanción, si el infractor soluciona la causa(48).

SEDUE podrá realizar actos de inspección y vigilancia, estando a lo dispuesto en el título sexto de la Ley(49).

Las infracciones en asuntos de competencia Estatal o municipal serán sancionados por estas autoridades o por el DDF en sus circunscripciones(50).

Cuando se ocasionen daños o perjuicios por infracción a lo dispuesto, el (los) interesados podrán solicitar un dictamen técnico de la SEDUE(51).

Toda persona podrá denunciar ante la autoridad competente, los hechos, actos u omisiones que desequilibren o dañen al ambiente(52). Aunque aquí no se menciona, debe recordarse que de acuerdo con la Ley, la autoridad esta obligada a informar al denunciante acerca de las acciones que emprenda e informe de los resultados de las mismas en plazos perentorios.

#### ARTICULOS TRANSITORIOS.

Los artículos transitorios establecen:

El reglamento entró en vigor el día 26 de Noviembre de 1988.

Se abrogó el Reglamento anterior y se deroga lo opuesto a éste.

Quienes operen o administren alguna fuente de jurisdicción federal tenían un plazo de 90 días para preentar los documentos y cumplir las obligaciones exigidas en el mismo, excepto cuando hayan satisfecho las disposiciones de la reglamentación derogada.

Los procedimientos y recursos administrativos se continuarán de acuerdo con las disposiciones originales.

Hasta que la SEDUE expida los formatos, instructivos y manuales, los interesados presentarán por escrito además de la información señalada, la que la Sria. les requiera. Los transitorios 3o y 4o dejan firme la obligación de presentar las solicitudes, registros y cedula de operación, aunque no hayan sido expedidos los formatos.

Hasta que las legislaturas locales o los ayuntamientos dicten sus leyes u ordenanzas, corresponderá a la Federación aplicar el reglamento en el ambito local. el D. F. le corresponderá al D. F.



# LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

- **NORMAS OFICIALES MEXICANAS**



*Scamex, S. A.*

NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
QUE ESTABLECEN LOS LIMITES MAXIMOS EN LAS  
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

NOM-CCA	PROVENIENTES DE:
001-ECOL-1993	Centrales termoeléctricas convencionales
002-ECOL-1993	Producción de azúcar de caña.
003-ECOL-1993	Refinación de petróleo y petroquímica.
004-ECOL-1993	Fabricación de fertilizantes excepto los que produzcan ácido fosfórico como intermedio.
005-ECOL-1993	Fabricación de productos plásticos.
006-ECOL-1993	Fabricación de harina.
007-ECOL-1993	Industria de la cerveza y la malta.
008-ECOL-1993	Fabricación de asbestos de construcción.
009-ECOL-1993	Industria elaboradora de leche y sus derivados.
010-ECOL-1993	Manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.
011-ECOL-1993	Manufactura de vidrio pesado y soplado.
012-ECOL-1993	Industria hulera.
013-ECOL-1993	Industria del hierro y del acero.
014-ECOL-1993	Industria textil.
015-ECOL-1993	Industria de la celulosa y del papel.
016-ECOL-1993	Industria de bebidas gaseosas.
017-ECOL-1993	Industria de acabados metálicos.
018-ECOL-1993	Industria de laminación, estrucción y estiraje de cobre y sus aleaciones.



*Scamex, S. A.*

NOM-CCA	PROVENIENTES DE:
019-ECOL-1993	Impregnación de productos de cerradero.
020-ECOL-1993	Industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.
021-ECOL-1993	Industria del curtido y acabado de pieles
022-ECOL-1993	Industria de matanza de animales y empacado de cárnicos.
023-ECOL-1993	Industria del envasado de conservas alimenticias.
024-ECOL-1993	Industria elaboradora de papel a partir de la celulosa virgen.
025-ECOL-1993	Industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada.
026-ECOL-1993	Restaurantes o de hoteles
027-ECOL-1993	Industria del beneficio del café.
028-ECOL-1993	Industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado.
029-ECOL-1993	Hospitales
030-ECOL-1993	Industria de jabones y detergentes.
031-ECOL-1993	Industria, actividades agroindustriales, de servicios u el tratamiento de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.
032-ECOL-1993	Origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.
033-ECOL-1993	Origen urbano o municipal o de la mezcla de estas en los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.



*Scamex, S. A.*

NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
QUE ESTABLECEN LOS METODOS DE MEDICION  
Y CALIBRACION DE LOS APARATOS DE MEDICION  
PARA DETERMINAR EN EL AIRE AMBIENTE

NOM-CCAM	LA CONCENTRACION DE:
001-ECOL-1993	Monóxido de carbono
002-ECOL-1993	Partículas suspendidas totales en el aire ambiente y calibración de los equipos de medición.
003-ECOL-1993	Ozono
004-ECOL-1993	Bióxido de nitrógeno
005-ECOL-1993	Bióxido de azufre



# Scamex, S. A.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
QUE ESTABLECEN LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES  
DE EMISION A LA ATMOSFERA DE:

NOM-CCAT	PARAMETROS	FUENTES
001-ECOL-1993	Bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico.	Producción de ácido sulfúrico.
002-ECOL-1993	Partículas sólidas y requisitos de control de emisiones fugitivas	Fabricación de cemento.
003-ECOL-1993	Gases contaminantes provenientes del escape	vehículos automotores a gasolina.
004-ECOL-1993	Hidrocarburos no quemados monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.	Vehículos automotores. Nuevos en planta.
006-ECOL-1993	Partículas sólidas.	Fuentes fijas.
007-ECOL-1993	Hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo	Escape de motores nuevos a diesel.
008-ECOL-1993	Opacidad del humo.	Motores a diesel.
009-ECOL-1993	Bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico.	Producción de ácido dodecilbenzensulfónico.
010-ECOL-1993	Características del equipo y procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes.	Vehículos a gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos



# Scamex, S. A.

NOM-CCAT	PARAMETROS	FUENTES
012-ECOL-1993	Hidrocarburos como monóxido de carbono y humo.	motocicletas a gasolina o gasolina-aceite.
013-ECOL-1993	Características del equipo y procedimiento de medición para verificación de niveles de emisión de gases contaminantes.	Motocicletas.
014-ECOL-1993	Hidrocarburos y CO	Escape de vehículos convertidos para usar gas L. P.
015-ECOL-1993	Azufre	Gasoleo industrial en la Z. M. C. M.
019-ECOL-1993	Partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre y humo, requisitos y condiciones de operación.	equipos de calentamiento indirecto que usan Comb. fósiles líquidos y gaseosos.
022-ECOL-1993	Requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de hidrocarburos.	Estaciones de servicio ubicadas en el Valle de México.
023-ECOL-1993	Prueba para evaluar la eficiencia real de recuperación de vapores de hidrocarburos.	Estaciones de servicio.
CCAT-024-1993	Hidrocarburos y monóxido de carbono	automotores con convertidor catalítico a gasolina, gas L.P., gas natural u otros, de 400 a 3,000 Kg.



*Scamex, S. A.*

NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
RELATIVAS A RESIDUOS PELIGROSOS

NOM-CRP

- 001-ECOL-1993 Listado y límites de residuos peligrosos.
- 002-ECOL-1993 Prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso.
- 003-ECOL-1993 Procedimiento para determinar incompatibilidad entre dos o más residuos peligrosos.
- 004-ECOL-1993 Requisitos que deben reunir los sitios de confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radioactivos.
- 005-ECOL-1993 Requisitos para el diseño y construcción de obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
- 006-ECOL-1993 Requisitos del diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
- 007-ECOL-1993 Requisitos para operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSO: # 126  
"CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL"  
del 5 septiembre al 5 de octubre  
1994.

TEMA 6 MODULO I.  
DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS Y PELIGROSOS.

ING. MARTINIANO  
AGUILAR  
RODRIGUEZ.



## DESECHOS SOLIDOS

En término de desechos sólidos se aplica en este trabajo tanto a lo que se denomina residuos sólidos como basura.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española, se tiene que BASURA es:

**"Desperdicio, inmundicia, colector de basuras.- Estiércol de las caballerizas. Cosa vil, asquerosa".**

También la Real Academia Española define a RESIDUO como:

**"Lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa, parte o porción que queda de una cosa".**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), define a RESIDUO como:

**"Cualquier material generado en los procesos de extracción benéfico, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo genero".**

Los desechos o residuos sólidos se pueden clasificar de acuerdo al origen de su generación en: domésticos, comerciales, industriales y de servicios.

La generación de desechos en la zona metropolitana de la Cd. de México es la siguiente:

vivienda	-	67%
industria	-	24%
vía pública	-	9%

Los desechos sólidos diferentes a los desechos de materiales peligrosos y radioactivos, con frecuencia se conocen como desechos sólidos municipales (DSM) y consisten de todos los materiales sólidos y semisólidos descartados por la comunidad.

La fracción de los DSM producidos en una casa se conoce como desperdicios (refuse); hasta muy recientemente éstos fueron principalmente desechos de comida; pero nuevos materiales como plásticos, nuevos empaques para productos como latas de cervezas, y nuevos productos como molinillo de basura, han cambiado la composición de los DSM.

La industria crea cerca de 2000 nuevos productos cada año, todos los cuales eventualmente encuentran su camino dentro de los desperdicios municipales y contribuyen a los problemas de disposición individual.

Los componentes de los desperdicios son:

- basura (garbage) que consiste de desechos de alimentos y otros orgánicos;
- cascajo (rubbish) que consiste de vidrio, latas y papel;
- cenizas (ashes);
- escombro (trash) que incluye partes grandes como ramas de árboles, aparatos viejos, etc., que normalmente no son colocados en los botes de basura.

La relación entre los desechos sólidos y las enfermedades humanas es intuitivamente obvia pero difícil de probar, por ejemplo, si una mosca es sostenida por una rata que a su vez es sostenida por un basurero, tiradero o vaciadero (dump) abierto, transmite la enfermedad del tifo a un humano, la evidencia absoluta del camino está en encontrar la rata y la mosca, una tarea obviamente imposible, sin embargo, se tiene la certeza que la disposición impropia de desechos sólidos es realmente un peligro para la salud, porque se conoce que al menos 22 enfermedades humanas están asociadas con los desechos sólidos.

Los dos vectores (medios por los cuales los organismos de enfermedades se transmiten; el agua, aire y alimentos pueden ser vectores) más importantes de las enfermedades humanas con relación a los desechos sólidos son las ratas y las moscas.

La mosca es un reproductor prolífico (se pueden producir 70,000 moscas en un pie<sup>3</sup> de basura) y llevador de muchas enfermedades, por ejemplo, el bacilo de la disentería. Las ratas no solo destruyen propiedades e infectan por mordedura directa, sino también son acarreadores peligrosos de insectos que pueden también actuar como vectores.

La contaminación del agua subterránea y del agua potable por filtración (leachate) de disposiciones de desechos sólidos ha aumentado en las dos décadas pasadas. La filtración se forma cuando el agua de lluvia se colecta en los rellenos y permanece en contacto con el material lo suficiente para filtrarse y disolver algunos de sus constituyentes químicos y bioquímicos. La filtración puede ser un contaminante mayor de agua subterránea y agua superficial, particularmente donde hay fuertes lluvias y percolación rápida a través del suelo.

En la Fig. , se muestran las rutas físicas y biológicas de transporte de sustancias peligrosas, su liberación de los sitios de disposición y el potencial para la exposición humana.

Cantidades y características de los DSM

Recolección.

Opciones de disposición.

Conclusiones.

El problema de los desechos sólidos tiene tres facetas:

fuelle  
recolección  
disposición.

Por lo general se tiene poca oportunidad de hacer frente a este problema, a menos que se empiece a atacar las tres áreas.

La fuente de los desechos sólidos es quizá el más difícil de los tres de superar; si se quiere tener progreso al respecto, son necesarios nuevos conceptos de empaquetado, uso de recursos naturales y evaluación de la obsolescencia planeada. A este respecto se lucha contra la corriente económica; en todo sistema político la economía está aceitada con dinero, y el valor de los objetos está en términos de su costo en dinero. No es irrazonable especular que este método necesite ser cambiado algún día; se necesita crear una "nueva economía" con relación a la productividad, obsolescencia y desechos antes de que se puede tener paz con los ecosistemas y esperar una larga sobrevivencia.

## A.- LOS DESECHOS DOMESTICOS.

Estos desechos comprenden la basura doméstica, los desechos voluminosos y los desechos ligados al uso del automóvil (refacciones, aceites, llantas).

**1. La basura doméstica.** En la zona metropolitana de la Cd. de México, actualmente (1994) se produce en promedio 1 Kg. diario de basura por habitante, cifra mas o menos comparable a algunos países de Europa, pero mas de 2 veces inferior a la de E.U.A. y Canadá.

La composición media de la basura doméstica es al que se muestra en la siguiente tabla:

Papeles - cartones	20%
Materias putrescibles (animales y vegetales)	50%
Vidrio	5%
Plásticos	4%
Metales	3.5%
Textiles	4.2%
Diversos	13.3%

Desgraciadamente, la progresión de los papeles-cartones no se debe al gusto creciente de nuestras poblaciones por la lectura, sino a la inflación de la propaganda y de los embalajes. Por otra parte, los embalajes de todos géneros (papel, cartón, plástico, metal) representan hoy el 25% de nuestra basura doméstica.

**2.- El tratamiento de las basuras domésticas.** Ya no estamos en el tiempo en el que bastaba, para "eliminar" la basura, tirarla a la calle donde los puercos y los perros realizaban su tarea. Hoy, si se deja a un lado el reciclaje, hay, en general, tres métodos; la composta (retorno a la tierra), la incineración, y los basureros.

Los porcentajes de eliminación de basura son muy variables de un país a otro y de una época a otra. Italia, cuna de la composta, hoy no trata ya por ese medio sino de un 2 a un 3% de su basura. La Gran Bretaña, cuna de la incineración, (al "destructor" británico acudía un 40% de la población urbana al principio del siglo), ve su parte de la incineración descender ¡a un 10%! En el mundo industrializado, la parte de la incineración puede ir desde menos de un 10% (América del Norte), hasta más de un 70% (Japón, Suiza)... Esto muestra cómo evolucionan las "certezas" en el tratamiento de la basura...

A decir verdad, cada tratamiento tiene sus ventajas, sus inconvenientes y, en suma, su aplicación:

a) La composta se aplica a la fracción fermentable (70% del total) de nuestra basura (desechos alimenticios, papeles-cartones, desechos de los jardines). Técnicamente, la composta consiste en dejar fermentar la basura al aire libre durante varios meses. Como es obvio, la composta requiere de mucho terreno.

Esparcir la basura en los campos ("la basura verde") se remonta a la antigüedad. Sin embargo este método, como la composta de hoy, ha sufrido la participación de los abonos químicos (más concentrados y, por tanto, más manuales) y la presencia creciente en nuestra basura de vidrio, metal o plástico, poco apreciados por nuestros agricultores... para paliar este último inconveniente, la composta necesita, pues, una escrupulosa selección previa que, lamentablemente, con frecuencia deja mucho que desear.

b) La incineración se aplica a la fracción combustible (60% del total de nuestra basura). A diferencia de la composta que, según vimos, necesita espacio, la incineración es una solución "compacta" que, con frecuencia, tiene el apoyo de las grandes aglomeraciones. Algunas de estas fábricas, las más grandes y las más urbanas, venden el calor e incluso la electricidad que producen.

La basura doméstica es un combustible muy pobre (cinco veces menos calorífico que el carbón) y, además, heterogéneo. En el interior del horno se necesita, pues, buena aireación y buena envoltura (la basura camina sobre un emparrillado que le da vuelta). La temperatura es del orden de los 900° máximo.

Aquí la dificultad reside en la depuración del humo, en tanto que la reciente reglamentación, mucho más severa, amenaza con encarecer de un 20 a un 50% el precio de la incineración. No tan sólo hay que desempolvar el humo, sino también lavar y neutralizar el ácido clorhídrico (que se desprende, principalmente, por la combustión de los plásticos PVC).

Otra dificultad de la incineración es que ya no se consideran los residuos, las "escorias metálicas" como totalmente inertes (metales pesados) y deben tomarse precauciones particulares para echarlos a los basureros. Lo mismo pasa con los residuos de la depuración del humo.

c) Los basureros siguen siendo el medio más frecuente, incluso en los países industrializados. Están proscritos los basureros brutos, "salvajes", los que tienen los pies en le agua o que desprenden mucho humo. En adelante le ha llegado la hora al basurero "controlado", rebautizado como "centro de enterramiento técnico".

De hecho, el basurero "controlado" consiste en nivelar la basura todos los días o cada dos días y en separar las capas de basura de las capas de arena o de tierra; esto se puede hacer casillero por casillero. Incluso si esta técnica evita los olores y los voladeros de basura, la misma no lo resuelve todo. El subsuelo debe ser impermeable, las agua de lluvia que se filtran en el basurero y se contaminan (las "lixivias") deben recuperarse y tratarse a fin de evitar cualquier contaminación de las aguas subterráneas. Los "biogases" que resultan de la fermentación interna de los basureros deben capturarse y quemarse (para no arriesgarse a tener olores y explosiones). Finalmente, debe preverse el reacondicionamiento del lugar una vez concluida la explotación.

Todos estos requisitos pueden encarecer el costo de los basureros, cuyo interés principal, hasta ahora, radicaba en su precio bajo; cerca de menos de la mitad por una incineración o un compostage acelerado. En verdad, las nuevas normas que pesan sobre la incineración y muy pronto sobre los basureros e incluso sobre la composta, podrían muy bien elevar a todos los costos de tratamientos por tonelada tratada.

El otro inconveniente de los basureros es, ciertamente, que consumen un bien raro en ocasiones, el espacio: un buen terreno, bien impermeable, no muy lejos de la ciudad y... no muy cerca de las habitaciones, es raro en las regiones densas. La idea que prevalece es que es lamentable despilfarrar estos buenos terrenos, "quemar los cartuchos", al poner toda la basura doméstica en el basurero y que sería mucho más sabio reservarlos para las fracciones no tratadas por el procedimiento elegido, esto es, "rechazos" del compostage, residuos de incineración.... Ciertamente, también el reciclaje de algunas basuras puede permitir aligerar el volumen de lo que se ponga en el basurero y evitar el relleno acelerado de los buenos lugares (véase 3).

**3. El reciclaje y la recolección selectiva de algunos desechos domésticos.** El reciclaje de los textiles, del papel usado, del vidrio, del plástico, de los metales... no data de ayer para algunos de estos materiales. Los traperos del siglo XIX extraían con mucho cuidado los textiles de los botes de basura.

En verdad, la historia de la recuperación es muy caótica, al gusto de los mercados y de los precios de los materiales recuperados; así, los textiles dejaron de ser taquilleros cuando las fábricas de papel dejaron de utilizarlos; los papeles-cartones dejan de interesar cuando el mercado se hunde...

Actualmente, se considera que de desechos domésticos se recupera:

5% del vidrio, en tanto que en Suecia, Alemania o Dinamarca se supera el 50%. Sin embargo, es el material mejor recuperado, principalmente gracias a la implicación directa de los vidrieros (las tres cuartas partes de la población se sirven de una recolección selectiva). Lo esencial del vidrio recuperado no se reemplaza como botellas enteras sino que se refunde;

- 3% de los papeles-cartones. ¡una miseria!
- 8% de los textiles (cinco veces menos que en Alemania): las asociaciones de caridad están en primer lugar en la recolección; parte de los vestidos es reutilizable (países en vías de desarrollo), el resto se convierte en trapos de limpieza o en "hilachos" para fabricar textiles nuevos;
- 1% de las botellas plásticas de PVC: en esto se está en los balbuceos (no se trata sino de uno ¡de los múltiples plásticos domésticos!);
- de 25 a 30% del fierro, cifra que parece débil puesto que el fierro viejo es fácilmente recuperable mediante selección magnética en todas las fábricas de tratamiento.

Siendo esto así, más allá de los efectos de la moda o de las vicisitudes de los mercados, hay que interrogarse sobre las justificaciones profundas de las recolecciones selectivas. Hay tres posibles:

Desde el punto de vista del material reciclado, esperar una economía financiera (este material usado tiene "valor"), una economía de materias primas (la madera para el papel) o una economía de energía.

Desde el punto de vista del tratamiento global de la basura, esperar una mejora cualitativa del tratamiento (al separar el vidrio se evitará volver a encontrarlo entre los "rechazos" de la incineración y del compostage) o simplemente cuantitativa (al reciclar todo lo que sea posible, se aligera tanto la cantidad de basura por tratar por procedimientos que, según se ha visto, serán cada vez más costosos); incluso si los papeles viejos se revenden a precio nulo, esto es mejor que "tratarlos".

Desde el punto de vista del medio ambiente, evitar mediante una recolección selectiva la dispersión en la naturaleza de desechos domésticos no mezclables con la demás basura doméstica, como desechos molestos (aparatos domésticos, residuos automotrices, neumáticos, ...) o desechos peligrosos (aceites usados, pilas de mercurio, medicamentos, desechos tóxicos, tales como pinturas o solventes dispersos en pequeñas cantidades, neveras que contengan CFC).

Para terminar con la recolección selectiva, precisemos que se utilizan múltiples métodos:

- La ayuda voluntaria, sea en recipientes, por los comerciantes (talleres de autos, vendedores de pilas, supermercados para las botellas, ...) o en los depósitos de desechos (principalmente para los desechos molestos y especiales aceites, neumáticos, solventes, pilas, ...)

La colecta a domicilio, instituyendo días especiales de colecta para ciertos desechos o recojiéndolos el mismo día que la basura normal, pero en botes o en sacos diferentes. En la práctica es difícil imponer más de tres botes o sacos diferentes. La frecuencia de las colectas desempeña un gran papel en los tonelajes recogidos.

Ciertamente la recolección a domicilio es la más efectiva, pero más cara que los sistemas de ayuda voluntaria. Estos pueden fomentar un depósito, ya en vigor para muchas botellas de vidrio y, en Dinamarca y Alemania, para las botellas de plástico y el mismo se considera para los envases, para los residuos automotrices, para los neumáticos, para las pilas y las baterías...

## **B.- Los desechos industriales.**

Los desechos industriales pueden clasificarse en (sin incluir los desechos de las industrias agroalimentarias), inertes (escombros, cascajo ...), comunes, asimilables a la basura doméstica y "especiales", esto es, específicos de la actividad industrial entre éstos, los desechos "peligrosos".

Estos desechos "especiales" generados por los procedimientos de fabricación, pueden ser:

desechos orgánicos, tales como los desechos de hidrocarburos, alquitranes, solventes usados, asientos de pintura;

desechos minerales líquidos, tales como los baños de limpieza y de tratamiento de superficie de los metales;

desechos minerales sólidos, tales como las arenas de fundición, las sales de temple cianuradas.

Los desechos especiales comprenden, igualmente, los desechos últimos que provienen de la descontaminación del agua y del aire, esto es, lodos de tratamiento de las aguas, residuos de tratamiento del humo, cenizas volantes y escorias metálicas (véanse caps. I y II).

Se pueden notar que, en general, las industrias de los metales en sentido amplio (metalurgia, tratamiento de superficie, mecánica), del petróleo y de la química en sentido amplio (abarcando la farmacia y las pinturas-barnices) son las que más proveen de desechos peligrosos.



**1. El tratamiento de los desechos industriales.** Excepto en el reciclaje (véase la 2) o en la prevención, el tratamiento de los desechos industriales pueden hacerse conforme a tres métodos: la incineración, el tratamiento físico-químico, los basureros.

La incineración no se lleva a cabo, sino muy rara vez, en las instalaciones para la basura doméstica que deben estar adaptadas de manera especial. Con mucha frecuencia se trata de centros especializados. Hay que señalar que las cementeras absorben una parte rápidamente creciente de los desechos combustibles. La incineración en el mar, a bordo de barcos incineradores, por mucho tiempo considerada como un buen método para los solventes clorados (el neutralizar el ácido clorhídrico la inmensidad marina) está en vías de abandonarse.

El tratamiento físico-químico consiste en desintoxicar los desechos (neutralización de los ácidos, descianurización, etc.) o en separar los desechos en múltiples fases (romper las emulsiones aceitosas para separar agua y aceites, filtrar o centrifugar).

El basurero aquí también se ha rebautizado como "centro de enterramiento técnico". Los que se especializan en desechos industriales deben respetar, aún un poco más, todas las precauciones ya enunciadas para los desechos domésticos (principalmente en lo tocante a las aguas de escurrimiento). Un modo de enterramiento particular es el almacenamiento en antiguas minas profundas de sal (en Alemania) de desechos muy específicos (lo interesante es que las minas de sal están por completo desprovistas de agua).

**2. El reciclaje de los desechos industriales.** Como para la basura doméstica, el reciclaje de los desechos puede tener múltiples finalidades, como economía de materias primas, economía de energía, economía en el tratamiento de los desechos.

En la industria se practica, desde hace tiempo, la recuperación de algunos "materiales de desecho", principalmente en cuatro sectores, a saber: fierro viejo, metales no ferrosos (plomo, cobre, aluminio, zinc), papeles, vidrio. Por otra parte se presentan dos problemas distintos; saber recuperar los materiales usados, saber reutilizar los materiales recuperados.

Actualmente, el reciclaje del plástico es despreciable (del 2 al 3% de recuperación total). La dificultad es que no hay un plástico sino numerosos plásticos con propiedades muy diferentes (polietileno, poliestireno, PVC, PET, etc.); aún es embrionaria la fabricación de tubos, de postes o de estacas, de película o de botellas de plástico regenerado, así como el uso de desechos de plástico en los revestimientos de las carreteras.

En cambio, se reciclan algunos desechos industriales especiales como los aceites y los solventes.

Finalmente, señalemos que se han abierto mercados de desechos para poner en contacto a productores de desechos con posibles usuarios.

Uno de los frenos del reciclaje es la existencia de normas de calidad para muchos objetos; esto en ocasiones se comprende (por ejemplo, para los plásticos en contacto con los productos alimenticios) pero, con mucha frecuencia, es un proteccionismo abusivo de los materiales nuevos.

**3. La transportación transfronteriza de los desechos peligrosos.** Las famosas fugas de Seveso que se encuentran en Francia en San Quentin, el vagabundeo de los barcos basureros que rechazan todos los puertos, las exportaciones de desechos peligrosos al África o a los países del Este (el inmenso basurero de Lübeck) han alimentado suficientemente las noticias como para que el conjunto de los gobiernos mundiales quiera poner término a este "turismo" de los desechos peligrosos. A partir de 1984, una directiva de la Comunidad europea preveía que, en adelante, cualquier exportación de desechos peligrosos debería obtener la autorización del país destinatario y proporcionar la prueba de que el destinatario final sabrá eliminarlos correctamente. La convención de Basilea, de marzo de 1989, firmada por 34 países bajo la égida de la ONU, iba en el mismo sentido. Pero, a finales de 1989, la cuarta edición de la convención de Lomé, que rige todas las relaciones entre la CEE y 70 países de la ACP (África-Caribe-Pacífico) fue mucho más lejos: la misma, simple y llanamente proscribió la exportación de desechos hacia los países ACP (los que, inversamente, se comprometían a no aceptar desechos ¡que no provinieran de la CEE!).

Esta convención consagra el principio de proximidad que parece prevalecer cada vez más en el tratamiento de los desechos, sean éstos peligrosos o simplemente domésticos. Sagrada revolución de las mentalidades más bien marcadas hasta ahora, por el síndrome NIMBY ("Not in my backyard" no en mi traspatio,...) y, así, por la tentación de deshacerse muy lejos de sus desechos... Sin embargo, aún hay que encontrar un equilibrio. El transporte de los desechos a largas distancias hace correr riesgos de accidente o de "perdida" en el camino. De manera inversa, algunos desechos muy "específicos" merecen tratamientos específicos que mejoran si se efectúan en centros importantes, prestigiados, especializados y, por esto, de número reducido (lo que, por otra parte, hace más fácil su control).

Otro problema es ¿Cómo tratar los movimientos transfronterizos de desechos reciclados o valorizados? Algunos, para favorecer el reciclaje, desean que se les exima de cualquier procedimiento burocrático, además del paso de las fronteras; otros temen que, en ocasiones, un "tren" de desechos reciclables, oculte un "tren" de desechos peligrosos. Difícil debate...

**4. Los antiguos basureros de desechos peligrosos.** Al ser, como hemos visto, relativamente reciente el tratamiento correcto de los desechos industriales, en el mundo entero subsisten muchos basureros del pasado, peligrosos para las aguas subterráneas o para la salud de las poblaciones circundantes. Todos los países industrializados se han unido para el recuento de estos puntos negros y su reabsorción. Pero, con frecuencia, los costos para eliminar el pasado resultan ser astronómicos. Esto hace surgir el problema del financiamiento, al saber que, con frecuencia, los autores de los derrames o bien han desaparecido o son insolventes. Los Estados Unidos han tomado el toro por los cuernos al crear un Fondo de garantía (el "Superfund") alimentado por impuestos sobre los productos petroleros o químicos.

### **C.- Los desechos agroalimentarios.**

Los desechos agroalimentarios representan, cuantitativamente, la parte mayor de desechos varias veces más que los desechos domésticos.

Los desechos agroalimentarios son:

Deyecciones de ganadería ("estiércol")

Cultivos (paja, cañas, tallos, hojas)

Bosques (y aserraderos)

Industrias agroalimenticias (azucareras, destilerías, cervecerías, lecherías, frutas y legumbres, carne).

A pesar de su cantidad considerable, en ocasiones se habla poco de los desechos agrícolas por razón de que, cualitativamente, estos desechos "naturales" generarían menos problemas que los desechos domésticos o los industriales, al poder, con mayor facilidad, devolverlos a la tierra o valorizarlos (principalmente como alimentación animal o humana).

Sin duda se trata de una visión "idílica" de la situación de los desechos agrícolas:

La vuelta a la tierra, en efecto, genera, cada vez más, problemas de espacio o de contaminación. Las reservas de tierra de los ingenios, en ocasiones tienen muchos problemas para ampliar su superficie y muchos lamentan que la tierra dedicada no se limpie el máximo en el lugar, para no transportarla hasta el ingenio para hacer, enseguida, montañas de tierra. Con respecto a las deyecciones animales, se sabe que, en ciertas regiones de cría intensiva, su retorno a la tierra en ocasiones excede las capacidades de acogida de los suelos; los excrementos de los puercos o de las aves se desborda, literalmente, creando problemas cada vez más preocupantes de contaminación de las aguas de superficie o de las subterráneas (véase el cap. II).

La valorización en alimentación animal de algunos desechos debe ser sanitariamente irreprochable.

## **D.- Los desechos nucleares.**

Sin duda, el problema de los desechos nucleares es uno de los más apasionantes de todos, como lo muestran las verdaderas revueltas que han brotado en la población en contra de los sitios previstos. Los desechos radioactivos pueden provenir de los laboratorios de investigación o de la medicina o de la producción de energía nuclear.

De inmediato hay que recordar que los desechos radioactivos se caracterizan, por una parte, por su actividad más o menos grande (lo que crea peligro), por otra, por su tiempo de vida (algunos cuerpos radioactivos se desintegran instantáneamente, otros "viven" millares e incluso millones de años).

También hay que recordar que los desechos de las centrales nucleares pueden ser el "combustible" (uranio) usado retirado del reactor o desechos tecnológicos debidos al hecho de que inevitablemente se contaminan las fundas, las tuberías y otros elementos de la central (a los que hay que añadir los desechos de desmantelamiento de las centrales).

Estos desechos tecnológicos de las centrales (así como los desechos radioactivos médicos) son desechos que tienen un mérito doble, una vida corta (1 000 veces menos en treinta años) y actividad débil. Estos no representan ningún problema. Se les almacena en la superficie, en simples recipientes de hormigón. En algunos países se almacenan en galerías o trincheras accesibles a poca profundidad.

En cambio, el combustible usado tiene un inconveniente doble, vida larga y mucha actividad. Algunos países, han decidido regenerar, se dice "retratar" el combustible usado, extrayéndole el uranio y el plutonio que podrían reutilizarse en la central. Entonces, no queda sino un 3% de los desechos que se atrapa en el vidrio. Una vez vitrificados estos desechos residuales exigen de cuatro a cinco veces menos lugar para almacenarse. Este argumento de los partidarios del retratamiento lo combaten sus adversarios quienes recuerdan que, desgraciadamente, la fábrica de retratamiento produjo muy voluminosos desechos intermedios, de actividades débil y mediana, pero sin carecer de elementos de vida larga. Ahora bien, la presencia de estos elementos de vida larga hace que, a pesar de su menor actividad, los desechos de esta categoría ameriten el mismo tratamiento "pesado" que los desechos de larga vida.

De todos modos, la solución que se considera con mayor frecuencia para estos desechos de vida larga es, luego del enfriamiento en la superficie durante algunas decenas de años (principalmente para los desechos de mucha actividad que desprenden mucho calor), enterrarlos a gran profundidad (varias centenas de metros) en capas geológicas adecuadas, con el mínimo de agua posible, sin riesgos sísmicos, etc. Cuatro tipos de rocas parecen particularmente interesantes, la sal (sin una gota de agua, roca muy plástica), la arcilla, el granito, los esquistos. Para los desechos cuya vida amenaza durar millones de años, son evidentemente primordiales la estabilidad y la hermeticidad de las rocas escogidas en una escala de tiempo "geológica".

Para terminar, hay que señalar que se efectúan investigaciones, por una parte para extraer químicamente, en el combustible usado, los cuerpos de vida muy larga, tales como el neptunio o el americio (es lo que se llama el "retratamiento apoyado") luego de operar la "transmutación" de estos cuerpos en elementos de vida corta por bombardeos neutrónicos. Otros imaginan, sin haber procedido previamente a la separación y, por tanto, al retratamiento favorecido, bombardear directamente los desechos gracias a los aceleradores lineales de partículas. Los Estados Unidos, Francia y Alemania, que hasta ahora conducían estas investigaciones, tienen el riesgo de que el Japón, que acaba de lanzar un fabuloso programa de investigación "OMEGA", los supere...

#### E.- Reglamentación de los desechos.

Principalmente, la ley debe prever:

que los municipios tengan la obligación de recoger los desechos al menos una vez por semana en las ciudades o en las poblaciones de más de 500 habitantes;

que los estados tengan el encargo, con una dilación de cinco años, "de asegurar la eliminación de los desechos abandonados", así ya no debería hacer basureros salvajes...;

que se formulen planes estatales de eliminación de los desechos;

que podría reglamentarse e incluso prohibirse la fabricación y la puesta en venta de productos generadores de desechos difíciles de eliminar (una única aplicación para los PCB, fluidos que se encuentran en los transformadores eléctricos y una aplicación próxima para las pilas, en los dos casos por virtud de una directiva europea);

que, para ciertos desechos, los eliminadores debe aceptarlos la administración e incluso, en ocasiones, los recogedores (principalmente esto es así para los aceites usados);

que la recuperación de los materiales o de la energía debe "facilitarse", que incluso se puede imponer una "proporción mínima" de materiales recuperados en ciertos productos o que se prohíba la promoción y la publicidad discriminatorias a favor del producto nuevo y a expensas del reciclado!.

Pueden mencionarse también otras reglamentaciones:

- . todas las que impiden el depósito de los desechos sobre terrenos públicos o privados;
- . el Código de la construcción y el "Reglamento sanitario" que emiten normas de eliminación de los desechos en los inmuebles (habitaciones, comercios, hospitales, etc.);
- . la ley sobre las instalaciones "clasificadas" peligrosas que se aplican a los desechos de la industria, pero también a las fábricas de tratamiento de los desechos (basureros, fábricas de incineración);
- . el Código de carretera para los restos automotrices.

## **LOS DESECHOS SOLIDOS**

## DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS.

La disposición de desechos sólidos se define como la colocación del desecho de forma que no tenga mas impacto en la sociedad.

Lo anterior puede lograrse ya sea asimilando el residuo de forma que ya no pueda ser identificado en el ambiente (por ejemplo como cenizas volantes de un incinerador) o por buen ocultamiento del desecho de forma que no pueda ser encontrado fácilmente.

Algunos desechos sólidos pueden también ser procesados de forma que algunos de sus componentes puedan ser recuperados, un procedimiento que se conoce como reciclado.

Antes de la disposición o reciclado, el desecho debe ser recogido; todas éstas operaciones, recolección, disposición y/o recuperación, forman parte de un sistema total de gestión de desechos sólidos.

Se puede disponer de los rechazos ya sea como están o después de un procesamiento adecuado; éste procesamiento puede ser térmico o físico, y se realiza solo con el propósito de convertir el rechazo a una forma más fácilmente disponible y no como un método de recuperación de materiales o de energía.

La disposición de desechos sólidos sin procesar tiene solo dos opciones realistas: en los océanos (o en otros cuerpos grandes de agua), que está actualmente prohibida por las leyes federales, por lo que solo queda la segunda opción: la tierra.

El lugar para la disposición de desechos sólidos en la tierra se conoce como "basureros", tiraderos o vaciaderos (dumps). Los basureros son con mucho el medio menos caro para la disposición de desechos sólidos y este es el método original de selección de todas las poblaciones en el interior del continente.

La operación de los basureros o vaciaderos es simple y no involucra mas que asegurarse que los camiones se vacían bien en el punto apropiado; con frecuencia el volumen se reduce ajustando los rechazos con fuego, lo cual prolonga la vida de los basureros.

Los roedores, olores, contaminación del aire y los insectos en los basureros pueden volverse problemas serios de salud pública y estética, por lo que se hace necesario un método alternativo de disposición de los residuos; en muchos lugares los basureros se han vuelto obsoletos y han sido reemplazados, mayormente por rellenos sanitarios.

Los rellenos pasan a través de cuatro etapas distintas.

la 1a. etapa es aeróbica y dura desde unos varios días hasta varios meses y durante este tiempo los organismos aeróbicos están activos y afectan la descomposición. Como los organismos usan todo el oxígeno disponible, el relleno entra a la 2a. etapa;

la 2a. etapa es donde comienza la descomposición anaeróbica, pero como los organismos formadores de metano aún no se han establecido, entonces los formadores de ácido producen de  $\text{CO}_2$ . Esta etapa puede también variar con las condiciones ambientales;

la 3a. etapa es anaeróbica formadora y productora de metano, durante la cual el %  $\text{CH}_4$  se incrementa progresivamente junto con un incremento en la temperatura del relleno a cerca de  $55^\circ\text{C}$ ;

la 4a. y última etapa de condición estable ocurre cuando las fracciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  son aproximadamente iguales y la actividad microbiológica se estabiliza.

La migración no deseada del gas puede ser prevenida con venteos de escape instalados en los rellenos; estos venteos se conservan encendidos y el gas se quema conforme se forma. Un venteo inapropiado puede llevar a una acumulación peligrosa de metano.

Los aspectos biológicos de los rellenos, así como las propiedades estructurales de la compactación de los desechos limitan el uso último de los rellenos; el asentamiento irregular es con frecuencia un problema y se sugiere que nada se construya en un relleno por lo menos dos años después de su terminación. Con una compactación inicial mal, no es irrazonable esperar 50% de asentamiento en los primeros cinco años.

Los rellenos nunca deben ser perturbados; esto no solo causa problemas estructurales adicionales, sino también los gases atrapados pueden ser peligrosos. Los edificios construidos en los sitios de rellenos deben tener cimentaciones extendidas (lozas grandes de concreto), a pesar de que se han construido sobre pilotes que se extienden a través del relleno y sobre las rocas u otro material resistente adecuado.

El costo de operación de un relleno varía de 15 a 40 dólares por tonelada de desecho y por lo general representa el método de costo mas bajo de una disposición de desechos sólidos aceptable.



## REDUCCION DE VOLUMEN ANTES DE LA DISPOSICION.

Los desechos son un material voluminoso que no se compacta fácilmente y entonces los requerimientos de volumen en los rellenos son significativos, y en donde el terreno es caro el costo de los rellenos pueden ser caro. Considerando lo anterior, se han encontrado varios métodos que son efectivos para reducir el volumen de los desechos a ser colocados en rellenos.

Bajo circunstancias correctas, la **INCINERACION** puede ser un tratamiento efectivo de los desechos sólidos municipales DSM; la incineración puede reducir el volumen de desechos por un factor de 10 a 20, y las cenizas de los incineradores por lo general son más estables que los DSM en sí mismas. La disposición de las cenizas puede ser problemática porque se pueden concentrar en las cenizas metales pesados y algunos materiales tóxicos.

Los incineradores tienen altos costos de inversión y su operación es cara; el control de la contaminación del aire ha duplicado el costo de incineración. En la Fig. , se muestra el esquema de un incinerador de desechos sólidos típico.

Los "desmenuzadores o picadores" de desechos sólidos (conocidos también como pulverizadores) que luego esparcen el material en los campos se han usado satisfactoriamente en algunos lugares; en esta forma los orgánicos ya no tienen interés para las ratas y el esparcido seca los desperdicios que evita los problemas de olores y moscas.

El material pulverizado no tiene que ser cubierto con tierra, lo que significa una ventaja sobre los rellenos.

Las operaciones en los rellenos son más difíciles durante lluvias o nevadas, y las capacidades de muchos sitios de rellenos se limitan no por el volumen disponible sino por los recubrimientos disponibles para los desperdicios.

## DESECHOS PELIGROSOS

### El Problema.-

Durante siglos, los desechos químicos han sido los subproductos necesarios de las sociedades desarrolladas.

Anteriormente los sitios para disposición, que podían ser cualquier lugar tenían muy poca o ninguna atención a los impactos potenciales en la calidad del agua subterránea, las corrientes de agua o lagos y el contacto con la piel de las personas.

Históricamente las decisiones de ingeniería fueron hechas por default: poca o ninguna planeación para el manejo/procesamiento/disposición a nivel corporativo o de planta necesitándose decisiones rápidas (y sucias) al final de los procesos de producción.

Las actitudes empezaron a cambiar en las décadas de 1960's y 1970's, cuando el aire, el agua y la tierra ya no fueron vistos como comodidades que podíamos contaminar y pasar el problema de su limpieza a futuras generaciones.

El término "peligroso" ha evolucionado en un ajuste confuso conforme diferentes grupos aplican muchos criterios para clasificar un desecho como peligroso. Dentro de la legislación se usan diferentes descripciones para etiquetar un desecho como peligroso, como:

- . tóxico
- . explosivo
- . radioactivo.

Algunas clasificaciones de desechos peligrosos se definen por el grado de:

- . inflamabilidad
- . corrosividad
- . reactividad y/o toxicidad

Esta definición incluye:

- . ácidos
- . químicos tóxicos
- . explosivos
- . otros desechos peligrosos o potencialmente peligrosos.

Los desechos radioactivos son también peligrosos, pero debido a su drástica diferencia de generación, manejo, procesamiento y disposición de los peligrosos no-radioactivos, requieren un capítulo separado.

## **Procesamiento y Manejo de Desechos.**

El procesamiento y manejo son la clave como empieza un desecho peligroso en el sitio de su generación, que debe asegurar facilidades de almacenamiento a largo plazo. Los procesos de tratamiento para volverlos menos peligrosos son:

estabilización/fijación química. En este proceso, químicos se mezclan con lodos de desechos, la mezcla es bombeada a la tierra, y la solidificación ocurre en varios días o semanas;

reducción de volumen. Por lo general la reducción de volumen se logra en un proceso de incineración, este proceso tiene ventajas donde se generan grandes fracciones de desechos orgánicos en muchas industrias, pero puede tener problemas secundarios por las emisiones de las chimeneas y la producción de cenizas.

segregación de desechos. Antes del embarque a un procesamiento o a facilidades de almacenamiento a largo plazo, los desechos se segregan por tipo y características químicas.

destoxificación. Están disponibles muchos procesos térmicos, químicos y biológicos para destoxificar los desechos químicos; las opciones incluyen:

intercambio iónico

incineración

pirolisis

lagunas de aireación

estanques de estabilización de desechos.

Estas tecnologías son extremadamente específicos para ciertos desechos.

degradación.- Existen métodos que degradan químicamente algunos desechos peligrosos para volverlos seguros. los proceso de degradación química que son muy específicos de desechos son:

- i.- Hidrólisis, para destruir pesticidas órgano fosforados y carbonatados.
- ii.- Decoloración química, para destruir algunos pesticidas policlorinados.
- iii.- Degradación biológica, que generalmente involucra la incorporación del desecho del suelo.

encapsulado.- Para encapsular desechos peligrosos, hay disponibles un amplio rango de materiales: concreto, asfalto y plásticos.

### **Transporte de Desechos Peligroso.**

Los desechos peligrosos se transportan en camiones, carros de ferrocarril y barcos; la transportación de desechos peligrosos presenta los mismos peligros y está regulada en la misma forma que la transportación de otros materiales peligrosos como la gasolina.

Hay cuatro elementos básicos en la estrategia de control para el movimiento de los desechos peligrosos desde el generador:

- a.- Transportista.- Lo mas importante sobre los transportistas de desechos peligrosos incluyen: entrenamiento del operador, cobertura con seguro y registro especial de los vehículos de transporte.
- b.- Documentación del desecho peligroso.- Sirve para varios propósitos y organizaciones: autoridades (federales y estatales), generador y receptor del desecho.
- c.- Etiquetado y rotulado.- Antes de que un desecho se transporte del sitio de generación, cada contenedor debe ser etiquetado y rotulado el vehículo de transportación.
- d.- Reportes de accidentes e incidentes.- En las regulaciones de transportación, "incidente" involucra daños al empaque del desecho sin involucrar al vehículo; "accidente" involucra al vehículo que lleva el desecho así como a éste mismo.

## **Alternativas de Recuperación de Recursos.**

Las alternativas de recuperación de recursos, están basadas en la premisa que los desechos de unos son valiosos para otros.

En la gestión de desechos peligrosos, hay dos tipos de sistemas para transferir los desechos al lugar en donde son vistos como un recurso:

- transferencia de materiales de desechos peligrosos;
- bolsas de información de desechos peligrosos.

## **Facilidades para la Gestión de Desechos Peligrosos**

Consideraciones del sitio.

Además de las características que enseguida se señalan, el análisis de riesgo es una parte importante en el proceso de selección del sitio para la disposición de desechos peligrosos.-

**Hidrología.** - Los rellenos de los desechos peligrosos deben estar localizados bien arriba de los niveles altos de agua históricos.

**Climatología.** - Las facilidades de gestión de desechos peligrosos deben estar localizados fuera del paso de severas tormentas (huracanes, tornados) recurrentes.

**Geología.** - Una facilidad para procesamiento o disposición debe estar localizada en una formación geológica estable.

**Ecología.** - Se debe considerar el balance ecológico de la región en donde se localice el sitio. A este respecto, un sitio ideal incluye áreas de baja densidad de flora y fauna.

**Uso alternativo de la tierra.** - Las áreas con bajo uso último de la tierra deben recibir consideración primaria; deben evitarse áreas con alto potencial de uso recreacional, porque incrementa la posibilidad de contacto humano directo con los desechos.

**Salud ambiental.** Las facilidades de rellenos y procesamiento deben localizarse lejos pozos de agua, suministros de agua municipal y lejos de altas densidades de población.

**Transportación.** Las rutas de transportación a las facilidades tienen una consideración mayor en los sitios de facilidades de gestión de desechos peligrosos, que deben ser accesibles todo el tiempo por buenas carreteras para evitar derrames y accidentes durante los periodos de lluvias o nevadas.

Factores socio económicos. Los factores que pueden llevar al éxito o romper un esfuerzo para un sitio de facilidades de gestión de desechos peligrosos quedan bajo este encabezado. Estos factores, van desde la aceptación ciudadana, al cuidado y monitoreo a largo plazo de la facilidad.

Mezcla de desechos. - Este término se refiere a mezclas de desechos peligrosos y radioactivos.

## **Incineradores**

La incineración es un proceso controlado que usa la combustión para convertir los desechos a menos voluminosos, menos tóxicos o material menos nocivo.

Cuando los productos en los gases de combustión en un proceso de incineración contienen compuestos indeseables, se requiere un tratamiento secundario como un post quemado, lavado o filtración para bajar la concentración a niveles aceptables antes de su liberación a la atmósfera.

Los productos de cenizas sólidas del proceso de incineración tienen una importancia mayor y deben alcanzar una disposición adecuada última.

Las ventajas de la incineración como un medio de disposición de desechos peligrosos son:

el quemado de desechos y combustibles en una forma controlada ha sido llevada a cabo durante muchos años y la tecnología básica del proceso está disponible y esta razonablemente bien desarrollada; este no es el caso para algunos procesos de degradación químicos exóticos;

la incineración es ampliamente aplicable a la mayoría de los desechos orgánicos y puede ser escalada para manejar grandes volúmenes de desechos líquidos;

no se requieren grandes áreas de terrenos caros.

Las desventajas de la incineración incluyen:

el equipo tiende a ser más costoso de operar que muchas otras alternativas;

no siempre es un medio de disposición última, por ejemplo, las cenizas que pueden ser o no tóxicas;

las partículas y gases productos de la combustión pueden ser peligrosas para la salud o dañinas a la propiedad.

Las variables que tienen el efecto mas grande en el completamiento de la oxidación de los desechos son:

- combustibilidad del desecho;
- tiempo de residencia en el combustor;
- temperatura de la flama;
- turbulencia presente en la zona de reacción del incinerador.

Calderas con procesos industriales a alta temperatura puedan servir como incineradores para desechos carbonaceos tóxicos o peligrosos. Los hornos de cemento que deben operar a temperaturas en exceso a 1400°C para producir el clinker del cemento, pueden usar solventes orgánicos como combustible, y esto proporciona un método aceptable para su disposición.

La incineración es también una posibilidad para la destrucción de desechos líquidos; éstos pueden clasificarse en líquidos combustibles y líquidos parcialmente combustibles.

Para encender un desecho en forma líquida es necesario suministrar suficiente calor para vaporización además de elevar su temperatura a la de ignición. Para quemarlo, es necesario que pueda ser bombeado (con o sin calentamiento excesivo), además de que pueda ser inyectado en toberas para atomizarlo e introducirlo en sprays. Si el desecho no puede ser bombeado o atomizado, no se podrá quemar como líquido, pero puede ser manejado como lodo o sólido.

Para poder soportar la combustión en aire sin la asistencia de combustible auxiliar el desecho debe tener un poder calorífico de cuando menos 4,000 Kcal/kg.; los desechos líquidos con poder calorífico inferior a este se consideran material parcialmente combustible y requieren tratamiento especial.

La incineración de desechos que no son líquidos puros pero que pueden considerarse lodos o emulsiones son también un problema importante de disposición de desechos. Los tipos de incineradores aplicables a ésta clase de desechos podrian ser:

- incineradores de lecho fluidizado;
- incineradores de horno rotatorio;
- incineradores de corazón múltiple.

Los tipos de incineradores aplicables a desechos sólidos son:

- incineradores de foso abierto;
- incineradores cerrados como: hornos rotatorios e incineradores de corazón múltiple.

## **Rellenos**

Los rellenos deben ser diseñados y operados adecuadamente si se quiere proteger la salud pública y el ambiente.

Los componentes generales del diseño de estas facilidades (rellenos), así como los procedimientos correctos de operación y la fase de post-cierre de la vida de la facilidad se delinearán enseguida.

## **Diseño.**

Se deben incorporar tres niveles de salvaguarda en el diseño de un relleno peligroso, que se muestran en la Fig.

El sistema primario es un forro impermeable, ya sea de arcilla o de material sintético, junto con un recolector de filtraciones (leachate) y sistema de tratamiento. Las infiltraciones pueden ser minimizadas con una capa de material impermeable recubriendo el relleno y con pendiente para permitir el escurrimiento adecuado y evitar el estancamiento de agua.

Las pendientes de los lados del relleno no deben ser de más de 3:1 para reducir el esfuerzo del material del forro; las investigaciones y pruebas de los forros sintéticos se hacen con respecto a:

- . resistencia;
- . compatibilidad con el desecho;
- . costos;
- . vida esperada.

Los materiales disponibles para los forros son:

- . hule;
- . asfalto;
- . concreto;
- . una variedad de plásticos.

Asimismo, una combinación de cloruros de polivinil cubriendo la arcilla han probado su utilidad en base a sitios específicos.



Tuberías de plástico o arena y grava, similar a los sistemas en rellenos municipales son adecuados para canalizar las filtraciones a una estación de bombeo bajo el relleno; estas filtraciones deben ser tratadas por algún método específico, que siempre producen lodos de desechos y que deben llegar a su última disposición.

Un sistema secundario de salvaguarda consiste de otra barrera del contorno para proveer un sistema de respaldo de recolección de filtraciones (leachate). En el evento de falla del sistema primario, el sistema de recolección secundario conduce las filtraciones a una estación de bombeo, la cual a su vez retransmite el agua de desecho a la superficie del tratamiento.

Un sistema final de salvaguarda es también aconsejable; este sistema consiste de una serie de pozos de descarga sup-gradiente y sub-gradiente para monitorear la calidad del agua subterránea en el área y para controlar plumas de filtraciones si fallan los sistemas primario y secundario. Los pozos sup-gradientes actúan para definir los niveles de químicos seleccionados en el agua subterránea y servir como base para comparar las concentraciones de estos químicos en la descarga de los pozos sub-gradiente. Este sistema provee un mecanismo de alarma si fallan los sistemas primario y secundario.

En caso de que sea posible la generación de gas en un relleno de desechos peligrosos, se debe diseñar un sistema de recolección de gas en el relleno. Se deben proveer suficientes puntos de venteo de forma que el gas generado pueda quemarse continuamente o procesado antes de su emisión a la atmósfera.

## **Operación.**

Como los contenedores de desechos se llevan a un sitio de relleno para enterrarlos, se deben tomar precauciones específicas para asegurar la protección de la salud pública, seguridad de trabajadores y el ambiente.

Los desechos deben segregarse por características físicas y químicas y enterrados en las mismas celdas del relleno; es útil un mapa tri-dimensional del sitio para futuros minados de estas celdas para propósitos de recuperación de recursos.

Se deben mantener pozos de observación con monitoreo continuo y se deben tomar regularmente muestras del corazón del suelo alrededor del perímetro del sitio para verificar la integridad de los materiales del forro.

## **Cierre del sitio.**

Una vez que se cierra el sitio y no acepta mas desechos. la operación y mantenimiento del sitio debe continuar como sigue:

- la capa superior impermeable del relleno debe inspeccionarse y mantenerse para minimizar la infiltración;
- las corrientes del agua superficial deben ser manejadas, recolectadas y posiblemente tratadas;
- es necesario un monitoreo continuo del agua de superficie, subterránea y calidad del aire;
- también se necesita monitoreo continuo del material de la cubierta por inflamamiento o ruptura que puede ocurrir si se producen gases y/o se liberan desde los desechos a la superficie;
- se deben mantener inventarios y mapas de enterramiento para usos futuros del suelo y recuperación de recursos;
- un componente mayor en la gestión de post-cierre es el mantener limitado el acceso al área.

# DESECHOS RADIOACTIVOS.

## Introducción.

En ésta parte se presenta una discusión de las bases generales de la interacción de la radiación ionizante con la materia y los efectos ambientales de los radionuclidos, también se resaltan:

- los desechos radioactivos como un contaminante;
- los impactos de la radiación ionizante en el ambiente natural y en la salud pública;
- resumen de las opciones disponibles para los ingenieros ambientalistas para tratar y estabilizar los desechos radioactivos.

## La Radiación.

De acuerdo con la dirección y deflexión en un campo magnético, las radiaciones de los minerales de uranio fueron clasificadas, por los Curie's y sus contemporáneos, en tres tipos:

- alfa ( $\alpha$ )
- beta (B)
- gamma ( $\gamma$ )

En general, las emisiones de un núcleo radioactivo se caracterizan como radiaciones ionizantes, porque las colisiones entre éstas emisiones y un átomo o molécula ioniza ese átomo o molécula. Los rayos o partículas alfa, beta y gamma pueden ser mas caracterizados por su movimiento en un campo magnético o eléctrico, como se muestra en la Fig.

Los problemas significativos asociados con la gestión de desechos radioactivos requiere un entendimiento básico de las emisiones y emisores de alfa, beta y gamma y entendimiento del efecto de neutrones.

Las emisiones alfa y beta son clasificadas típicamente como partículas, mientras que las emisiones gamma consisten de radiaciones electromagnéticas (ondas).

Las radiaciones alfa, son identificadas como físicamente idénticas a un núcleo de átomo de helio, despojado de sus electrones planetarios permaneciendo con solo 2 protones y 2 neutrones, son emitidos por núcleos de átomos radioactivos selectos, con una energía cinética entre 4 y 10 MeV ( $1\text{eV} = 1.603 \times 10^{-12}$  erg,  $1\text{MeV} = 10^6\text{eV}$ ).

Las radiaciones beta son electrones que también son emitidas por el núcleo de un átomo radioactivo a una velocidad cercana a la de la luz y con una energía entre 0.2 y 3.2 MeV.

Las radiaciones gamma se identifican como invisibles, rayos electromagnéticos emitidos por núcleos de átomos radioactivos; éstos rayos son parecidos a los rayos X médicos en que están compuestos de fotones. Debido a su carga neutra, los fotones gamma colisionan aleatoriamente con los átomos de los materiales por los que pasan.

Cuando se emite radiación ionizante de un núcleo, la naturaleza del núcleo cambia: se forma otro elemento y también hay un cambio en la masa.

### **Unidades para la Medición de la Radiación.**

Se han desarrollado unidades estándar para medir la radiación y su impacto en los materiales.

El daño a la piel humana está directamente relacionado con la cantidad de energía depositada en la piel por las emisiones alfa, beta y gamma; ésta energía, en la forma de ionización y excitación de moléculas, resulta en daños por calor a la piel o aún quemado por radiación. Por ésta razón, muchas de las unidades usadas para medir la radiación están relacionadas con unidades de energía.

Un curie (Ci) es una medida de la radioactividad total o fuerza de la fuente y es igual a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones/seg - la radioactividad del elemento Radio, el régimen de decaimiento se mide en curies.

Un rad (radiation absorbed dose) es la cantidad de radiación ionizante que lleva a la absorción de 100 crgs/gramo de material absorbido.

El Roentgen fue por muchos años una unidad estándar de exposición correspondiente a una cantidad de rayos gamma que depositan 87.7 ergs/gramo de aire a presión y temperatura estándar.

La dosis equivalente, medida en rem (Roentgen equivalent man), dirige la siguiente afirmación: todos los tipos de radiación ionizante no producen efectos biológicos idénticos por una cantidad dada de energía sobre una piel humana.

## Medidores de Radiación.

Han sido desarrollados dispositivos para medir la dosis de radiación, régimen de dosificación o cantidad de material activo que está presente. Los cuatro métodos ampliamente usados en el campo son los siguientes.

Contadores son diseñados para marcar el movimiento de partículas sencillas a través de un volumen definido.

Las cámaras de ionización básicamente consisten en un par de electrodos cargados que colectan iones formados dentro de sus respectivos campos eléctricos.

Las películas fotográficas se oscurecen si se exponen a la radiación y son indicadores útiles de la presencia de radioactividad.

Los detectores termoluminiscetes (DTL) son cristales como el NaI que pueden ser excitados a niveles altos de energía electrónica por la radiación ionizante.

## EFFECTOS SOBRE LA SALUD.

Cuando las partículas alfa y beta, y la radiación gamma penetran en células vivas o cualquier otra materia, transfieren su energía a través de una serie de colisiones con los átomos o núcleos del material que las recibe. Muchas moléculas son dañadas en el proceso como rompimiento de enlaces químicos y pérdida de electrones (ionización).

Los efectos biológicos de estas penetraciones pueden ser agrupados como somáticos y genéticos.

Los efectos somáticos son los impactos sobre los individuos directamente expuestos a la radiación e incluyen:

- daños al sistema circulatorio;
- carcinogénesis;
- disminución en la función orgánica debido a la muerte de células.

Los efectos somáticos ocurren debido a los daños de la radiación ionizante al material genético de las y pueden causar rompimiento de cromosomas. Los efectos genéticos no son evidentes en el individuo recibiendo la radiación, pero son transferidos a los hijos y descendientes del individuo.

Las enfermedades por la radiación (rotura del sistema circulatorio, náuseas, pérdida de pelo) y la muerte resultante son efectos agudos somáticos que ocurren después de muy alta exposición, como por una bomba nuclear o una terapia intensiva de radiación.

El accidente en Chernobyl de la planta de generación nuclear en la antigua URSS en 1986, dio como resultado cerca de 30 muertes de efectos agudos durante los 2 meses después del evento; éstos individuos recibieron radiación gamma en todo su cuerpo estimada en una dosis de aproximadamente 400 rads.

Bajas dosis de radiación, pero arriba de 100 rads, pueden producir vómito, diarrea y náuseas en los humanos; la pérdida de pelo por lo general se observa dentro de las 2 semanas después de que el individuo ha sido expuesto a 300 rads o más. La radiación ionizante presenta un buen ejemplo de los efectos diferentes de dosis altas agudas y dosis bajas crónicas.

Los efectos en la salud de una dosis dada de radiación dependen de un gran número de factores, por ejemplo:

- magnitud de la dosis absorbida;
- tipo de radiación;
- potencia de penetración de la radiación;
- sensibilidad de los órganos y células que la reciben;
- régimen al cual se envía la dosis,
- proporción del cuerpo humano/órgano/célula expuesta.

## **FUENTES DE DESECHO RADIOACTIVOS.**

Hay un número de fuentes de desechos radioactivos:

- ciclo del combustible nuclear;
- fabricación y uso radiofarmacéuticas;
- investigación y aplicación biomédica,
- usos industriales.

El comportamiento de los radionuclidos se determina por sus propiedades físicas y químicas; estos radionuclidos pueden existir como gases, líquidos y sólidos y pueden ser solubles o insolubles en agua u otros solventes.

A partir de 1980 la NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EUA clasificó los desechos radioactivos en las siguientes categorías:

- minería del Uranio y colas de molinos;
- desechos transuránicos (TRU);
- material de subproductos,
- desechos de bajo nivel (DBN). Incluye los que no están en las otras cuatro categorías anteriores, y se han designado varias clases: clase A, B y C.

Los DBN no son necesariamente menos radioactivos que los DAN, y aún pueden tener actividad específica mas alta (curies/gramo); la característica distintiva de los DBN es que virtualmente no contienen emisores alfa.

### **Otras Fuentes de Desechos Radioactivos.**

El incremento del amplio uso de radioisótopos en investigación, medicina e industria ha creado una larga lista de fuentes potenciales de otros desechos radioactivos.

Las fuentes de desechos radioactivos van desde un gran número de laboratorios que usan pequeñas cantidades (pocos isótopos) a grandes laboratorios de investigación y médicos en donde diferentes isótopos se producen, usan y desechan en grandes volúmenes.

Desde el punto de vista de la transportación por aire, todas las facilidades para manejo y disposición de desechos nucleares caen dentro de dos categorías generales:

- las que tiene una descarga a la atmósfera planeada y predecible;
- las que cualquier descarga puede ser puramente accidental.

La transportación por agua ocurre dondequiera que los radionuclidos en la superficie o bajo la superficie del suelo, erosionan o se filtran o un curso de agua o dondequiera que ocurran precipitaciones de la atmósfera.

Los isótopos radiactivos también pueden moverse desde el suelo a la cadena de alimentación humana. Los mecanismos de nutrición de las plantas virtualmente no tienen forma de filtrar un elemento que sea radioactivo.

La variedad de características químicas mostradas por los materiales radioactivos permiten que sean transportados a través del medio ambiente por un número de pasos diferentes, que hace el manejo de dichos desechos especialmente problemático.

## **LA GESTION DE DESECHOS RADIOACTIVOS.**

El objetivo de la protección del ambiente es el de evitar la introducción de materiales radioactivos a la biosfera durante el tiempo efectivo de vida (cerca de 20 vidas medias) de estos materiales.

El control del potencial del impacto directo sobre el ambiente humano es necesario pero no suficiente porque los radionuclidos pueden ser transmitidos a través de los pasos de aire, agua y suelo por muchos años y en algunos casos por muchas generaciones.

### **Desechos Radiactivos de Alto Nivel, DAN**

Se han considerado los siguientes opciones para disposición a largo plazo de los DAN:

- a. - Disposición en la tierra.
  - . enterrados en pozos muy profundos
  - . enterrados en una isla inaccesible
  - . disposición en profundidades (minadas) geológicas
  - . inyección líquida en formaciones geológicas
  - . fusión en rocas.
- b. - Disposición en camas bajo el mar
- c. - Disposición en hielos polares
- d. - Disposición en el espacio
- e. - Transmutación en nuclidos de vida mas corta o estable.

Solo dos de estas opciones parecieron garantizar investigación posterior:

- . minado geológico;
- . camas bajo el mar.

Después de investigación preliminar, la opción de camas bajo el mar se descontinuo porque el desecho no podría ser recuperado si esto fuera necesario o prudente.

La disposición en minado geológico parece ser la única opción disponible.



Con objeto de almacenar desechos radioactivos con un grado razonable de seguridad que no se dispensará en el medio ambiente, se han propuesto tres barreras.

- la 1a. barrera podría ser provista por la propia forma del desecho:  
la óptima forma del desecho podría ser material radioactivo dispersado en una matriz de vidrio o vitrificado;
- la 2a. barrera podría ser provista por un sistema de ingeniería, que incluya el empaquetado del desecho.
- la 3a. barrera podría ser la matriz geológica (roca).

Esta planeada la vitrificación para defensa de los DAN. Puesto que el combustible comercial agotado no se reprocesa, se puede almacenar en un depósito geológico, en la forma que salen del reactor, como varillas de combustible agotado, que están combinadas en cascos pesados de acero inoxidable en un sistema de barreras de ingeniería.

Cuando el uranio fisionable en una varilla de combustible de un reactor es usado cerca del 75%, las varillas se sacan a una alberca de agua muy grande en donde permanecen hasta que los nuclidos de vida corta hayan decaído completamente y las varillas estén térmicamente frías. Inicialmente esta fase se intentó que fuera de cerca de 6 meses, pero el combustible agotado ha permanecido en las albercas de almacenamiento hasta 10 años, en algunos casos porque no hay depósitos para él. Después de suficiente decaimiento y enfriamiento, el combustible agotado se carga en cascos y se emplaza en un depósito.

Las investigaciones para depósitos geológicos empezaron en 1972, y los de sal son los que completamente se han investigado porque:

- la tecnología de minado de sal está bien desarrollada y se pueden construir sitios de almacenamiento;
- los depósitos de sal tienden a tener alta plasticidad y entonces tienen una tendencia a sellarse ellos mismos si se producen fracturas por movimientos mayores de tierra;
- los depósitos de sal tienen baja permeabilidad y están esencialmente sellados de suministros de agua subterránea y de superficie;
- la sal tiene una alta conductividad térmica que ayuda a disipar el calor generado en los contenedores de desechos;
- las formaciones de sal tienen una alta resistencia estructural con la habilidad de soportar efectos de calor y radiación.

Las desventajas de los depósitos de sal son los siguientes:

los depósitos de sales no están libres de inclusiones de sales, y estas tienden a emigrar hacia fuentes de calor que podría proveer los desechos radioactivos emplazados;

la sal contiene algo de agua fósil.

Con excepción de la sal, el medio investigado es todo de roca dura, que se rompe y fisura bajo esfuerzos térmicos y químicos; las emisiones de radiaciones pueden ayudar al rompimiento.

La integridad del depósito depende de conservar los radionuclidos fuera de los acuíferos subterráneos si existen; esto pone problemas potenciales para los depósitos de roca dura.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

C: # 126  
CERTIFICACION DE PERITOS EN RIESGO AMBIENTAL.

MODULO I  
TEMA No. 2 NATURALEZA DE LA CONTAMINACION.

ING. MIGUEL A. CASTILLO H.

1 9 9 4.

# **MODULO I**

## **TEMA No. 2**

### **NATURALEZA DE LA CONTAMINACION**

**1.- AGUA**

**2.- AIRE**

**3.- SUELO**

## CONTROL DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL LA NATURALEZA DE LA CONTAMINACION

### INTRODUCCION.

Desde la Revolución Industrial, la industria ha estado plagada de problemas de contaminación de todos tipos.

A partir de 1970 se han hecho los mayores esfuerzos por los gobiernos para limpiar el medio ambiente y forzar a las industrias a cumplir estándares estrictos de emisiones.

A continuación se hará una relación de como cumplen las industrias éstos retos y que métodos utilizan para controlar sus emisiones.

Para lo anterior, es deseable considerar:

- . la naturaleza de los varios tipos de contaminación;
- . algunos de sus efectos en el ambiente;
- . las tendencias de las regulaciones actuales.

Con esta información, debe considerarse lo siguiente:

1º.- Los métodos generales de control de la contaminación.

2º.- Examinar algunos tipos particulares de industrias en detalle; los procesos químicos y/o físicos usados, como y donde se genera la contaminación y que métodos son típicamente usados para controlar las emisiones.

3º.- Impacto de las regulaciones de contaminación en el ambiente y en la industria.

## INTRODUCCION

Los desechos industriales afectan de muchas y muy diferentes formas, la vida normal de las fuentes acuíferas. Cuando estos efectos son lo suficientemente grandes como para considerar que esta fuente es aceptable para ser "usada", se dice que está contaminada.

Entre los diferentes usos del agua están los de escala doméstica (bebida, riego, etc.), los naturales (base para la vida de la flora y la fauna acuáticas), los recreativos (natación, remo, etc.), amén del uso industrial.

Las fuentes acuíferas pueden asimilar una cierta cantidad de desechos antes de llegar al llamado "estado contaminado". Por tanto, para decir que un acuífero (manantial, río, lago, etc.), está contaminado, éste debe tener un exceso de agentes contaminantes, esto es, que los ciclos ecológicos naturales no puedan restablecer el equilibrio.

Los siguientes materiales pueden llegar a ser agentes contaminantes:

- . Sales orgánicas
- . Materia orgánica
- . Agua caliente
- . Colorantes
- . Microorganismos
- . Agentes que alteran la tensión superficial
- . Acidos y/o álcalis
- . Sólidos en suspensión
- . Sólidos y líquidos flotantes
- . Compuestos químicos tóxicos
- . Materiales radioactivos
- . Compuestos orgánicos no biodegradables o recalcitrantes.

Como la cantidad de estas sustancias arrojada al entorno ha ido aumentando conforme la población y la industrialización se han ido incrementando, ha sido necesario que las comunidades aceleren la operación de estos ciclos ecológicos para restablecer el equilibrio.

## CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS QUE SE CONTAMINA?

- .. El agua
- . El aire
- . El suelo

y de manera indirecta, los finalmente afectados los seres vivos (el hombre, animales y vegetales) y sus propiedades.

### CONTAMINACION DEL AGUA

Comenzaremos por comentar sobre el agua:

La vida empezó en el agua, alrededor de la cual gira la estructura de la materia viva y la propia vida.

El hombre la ha utilizado para dos fines:

. Para satisfacer sus necesidades domésticas, agrícolas e industriales.

. Como medio de transporte y para verter sus "residuos".

Si la cantidad de residuos no es excesiva, estos se descomponen gracias a la acción de los microorganismos y los procesos de la misma agua, pero si se sobrepasa de una determinada cantidad y es vertida a los cuerpos receptores, estos sufren un proceso de degradación.

Los sistemas acuáticos son:

#### a) Sistema continental

Aguas superficiales

Aguas subterráneas

#### b) Sistema marítimo

## EL AGUA

La molécula del agua está formada por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno.

Su característica principal es su gran polaridad, es incolora, inodora, insabora, de una conductividad de casi cero, etc.

### CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua la define un conjunto de parámetros:

- |            |                                                                                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Físicos    | Sólidos totales, en suspensión, temperaturas, color, olor, conductividad, etc. |
| Químicos   | Materia orgánica, desintegrable ó no, inorgánica y gases disueltos.            |
| Biológicos | Microorganismos que viven en el agua.                                          |

### PROCEDENCIA DEL AGUA CONTAMINADA RESIDUAL:

- |             |                                                                                                               |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agrícola:   | Irrigación y otros usos agrícolas (limpieza ganadera), pesticidas (por su importancia se trata por separado). |
| Doméstica:  | Viviendas (excremento humano, basura, papel, productos de limpieza, jabón y detergente).                      |
| Pluvial:    | Arrastra toda la suciedad que encuentra a su paso.                                                            |
| Industrial: | Depende del tipo de industria y proceso utilizado (cloruro de sodio, dureza, metales pesados, etc.)           |



## CONTAMINANTES DEL AGUA

Según las características de las sustancias contaminantes y las fuentes de donde provienen.

**Microorganismos.** Son la parte biológica; algunos producen enfermedades (tifus, cólera, disentería, etc.), otros no (patógenos) bacterias, hongos, algas rotíferos, protozos y virus.

**Orgánica.** Los que tienen uno o más átomos de carbono (no óxido, ni carbónicos) papel, excremento, detergente, residuos vegetales.

**Oxígeno disuelto y el R.O.B. o D.B.O.** A mayor oxígeno disuelto, mejor calidad de agua.

**Los nutrientes.** Son el nitrógeno y el fósforo (fertilizantes y detergentes).

**Minerales inorgánicos.** Salinización (cloruro de sodio) y dureza (carbonato de calcio).

**Contaminantes químicos especiales.** Proviene en su mayoría de la industria, metales pesados (D) 5: Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Arsénico (As), etc.

**Sedimentos.** Erosión del suelo.

**Radioactividad.** De las minas de Uranio, elementos trazadores y fugas de alguna central nucleoelectrónica.

**Calor.** Intercambio en las industrias (disminuye solubilidad del oxígeno).

**Acidez y Basicidad.** pH de procesos químicos en la industria.

**Otros.** Contenido de nitrógeno orgánico, la conductividad, el calor, el olor, etc.

Al final, todas las aportaciones son de tipo industrial y municipal.

Las de tipo industrial son las que vierten las instalaciones industriales. En caso de que el agua residual tenga algún contenido tóxico, se deberá eliminar el tóxico, y después verter al cuerpo receptor.

Algunos de los procesos de eliminación de tóxicos del agua residual, son:

- . Decantación
- . Filtración
- . Floculación, coagulación
- . Adsorción
- . Evaporación
- . Desmineralización
- . Osmosis inversa
- . Otros.

Estos pueden utilizarse solos o combinados.

El residuo sólido de estos procesos pueden en alguno - casos reutilizarse o ser dispuestos como residuo sólido.

#### AGUA MUNICIPAL

El agua municipal puede ser tratada con los procesos siguientes:

- . Tratamiento primario
- . Tratamiento secundario
- . Tratamiento terciario

El tratamiento primario.- elimina la materia en sedimentación o flotante. Consiste de un reja o malla que retiene los gruesos, generalmente se acompaña de un tanque de sedimentación para eliminar los finos sedimentables y la grasa y aceite (a veces tiene un desarenador).

El tratamiento secundario.- elimina la sustancia orgánica que permanece aun. Esto se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de múltiples microorganismos. Este proceso puede ser:

- . Lodos activados
- . Bolsas de oxidación
- . Filtradores biológicos
- . Rotores biológicos
- . Desinfección
- . Otros

El tratamiento terciario.- Debido a que el agua efluente del tratamiento secundario aún contiene un 15% aproximadamente, de algunas sustancias (nitrógeno, fósforo, metales pesados y sustancias orgánicas), se utilizan algunos métodos distintos para su eliminación-coagulación y filtración, entre otros procesos.

#### DESCARGA DE AGUA RESIDUAL TRATADA Y DE LODO RESULTANTE.

Como resultado del proceso de tratamiento del agua residual se obtiene un efluente con el grado de depuración previsto y residuos de materia sólida que se depositan en un lugar determinado. El agua depurada se arroja generalmente a algún río, al mar, a pozos de absorción o se usa para regadíos.

En los ríos el agua sigue un proceso de dilución y depuración de la materia orgánica que aún queda en este efluente.

Cuando se vierte agua sin tratar, es decir, con una carga orgánica elevada (muy contaminada), esta materia orgánica consume el oxígeno disuelto en el agua del río causando la muerte de los microorganismos, de la flora y la fauna del lugar de vertido.

En la figura siguiente se muestra lo anterior:

- . En la primera fase el oxígeno disuelto es casi nulo.
- . En la segunda fase, es la zona de recuperación en la que empieza la acción de los microorganismos.
- . En la tercera fase, el agua ha recuperado su estado normal.

Antes de descargar el efluente se debe estudiar la capacidad de dilución y autopurificación del río para así determinar el grado necesario de depuración o a que debe ser sometida el agua negra en la planta de tratamiento.

El agua depurada cuando se arroja al mar, debe hacerse a través de un emisor submarino con la descarga a 10 - 15 m. de profundidad (cuidar que no sea arrastrado a zonas de baño público).

### MANEJO DEL AGUA

En el uso y manejo del agua, cabe señalar que no contaminar puede resultar menos caro que contaminar y luego depurar. Pensando así, se hace esfuerzo para diseñar procesos menos contaminantes.

Los más avanzados permiten reutilizar en su propio proceso productivo los productos arrojados al agua.

También es conveniente seleccionar los procesos que requieren la menor cantidad de agua posible. (El uso de torres de refrigeración o circuitos cerrados de enfriamiento).

Algunos ejemplos de procesos que han disminuido su consumo de agua:

INDUSTRIA	CONSUMO NORMAL	CONSUMO CON NUEVO PROCESO
Textil	200 l/Kg	60 l/Kg
Acero	100 l/Kg	2.8 l/KG
Papel	276 l/Kg	13 l/Kg

## CALIDAD DEL AGUA

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se han agrupado, de acuerdo con su procedencia, en tres sectores:

- . El social, correspondiente a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen el agua residual municipal.
- . El agropecuario, representado por los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, y por el agua de retorno de los campos agrícolas.
- . El industrial, derivado de las descargas originadas por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

## SECTOR SALUD

En relación con el agua residual municipal, su generación es importante en el contexto nacional y está definitivamente unida a la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado con que cuentan las poblaciones.

Dicha cobertura se ha visto favorecida en los grandes asentamientos urbanos, mientras que las zonas rurales y las pequeñas muestran un rezago significativo.

La población de la República Mexicana ha mostrado una fuerte inclinación (60%) a concentrarse en las grandes ciudades. La mayor parte de las actividades industriales del país y que disponen de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado constituyen las fuentes principales de generación de aguas residuales; los ejemplos más claros son las zonas localizadas en torno a las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, las cuales generan 46, 8.5 y 8.2 m<sup>3</sup>/s de agua residual respectivamente, que corresponden a 34% del total generado en el país, calculado en 184 m<sup>3</sup>/s de los cuales 105 corresponden a la población y 79 a la industria.

Las expectativas en cuanto a la generación de agua residual indica que para el año 2000, se producirán 207 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 118.4 corresponderán a la población y 89.4 a la industria.

Evidentemente esta situación representa un enorme compromiso para la población y el gobierno, en su esfuerzo para prevenir y controlar el deterioro es cada vez más valioso el recurso hidráulico del país.

## SECTOR AGROPECUARIO

Respecto al sector agropecuario, las superficies en producción agrícola de riego y temporal acumuladas en los años 1982, 1985 y 1990 totalizan 19.3, 20.6 y 22.9 millones de hectáreas respectivamente, de acuerdo con la información y las experiencias del Plan Nacional Hidráulico.

En cuanto a la demanda de agua y generación de agua residual se observa que 1980 se extrajeron 44,760 millones m<sup>3</sup>, cifra que, de acuerdo con algunas estimaciones se incrementará para los años 1990 y 2000 a 69,542 y 92,380 millones de m<sup>3</sup> respectivamente.

No obstante la diversidad de técnicas de riego utilizadas en el país, se estima consumo de 82% del agua aplicada, lo que nos proporciona un indicador de la generación de agua residual provenientes de esta fuente, la cual se estima en las siguientes cifras anuales:

1980:	8,056.8 millones de metros cubicos
1990:	8,345.0 millones de metros cubicos
2000:	11,085.0 millones de metros cubicos

Evidentemente el agua de retorno agrícola constituyen una fuente de contaminación muy importante, cuyo impacto se ha manifestado ampliamente en el país, sobre todo en el elevado porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutroficación.

En México disponemos de información suficiente respecto a las demandas de agua e índices de generación debido a los escasos trabajos realizados en el campo de la actividad pecuaria; sin embargo, en la zona de la Piedad, Mich., se ha observado que se utilizan de 10 a 15 litros de agua por kilogramo de estiércol producido y que en promedio se generan 2 kilos de excremento por cabeza cada día, considerando un peso promedio de los cerdos en la granja de 70 kilos. La mezcla final de residuos líquidos tiene las características siguientes:

pH	8
DBO	2,492
DQO	5,200
SOLIDOS TOTALES	5,582
SOLIDOS SEDIMENTABLES	15
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	4,740

Sin embargo, dado que la actividad de crianza porcina del país representa actualmente un aspecto crítico en cuanto a deterioro ambiental y sanitario en las regiones donde se practica (debido a la agresividad de los desechos que produce, el escaso o nulo tratamiento que reciben y a la inadecuada desposición final que se hace de los mismos), se han realizado grandes esfuerzos en todo el país para resolver este problema.

La producción de ganado porcino se desarrolla, preponderantemente, en los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacan, Sonora y Veracruz, observandose un crecimiento constante.

En los últimos años, la porcicultura se ha visto afectada fundamentalmente por una creciente disminución en la demanda, por lo que es estos momentos opera por debajo de su capacidad instalada.

En forma específica, el corredor comprendido entre las poblaciones de Abasolo, Guanajuato y la Piedad Mich., se han caracterizado por ser el lugar de mayor relevancia, en el nivel nacional, desde el punto de vista de la generación de contaminantes por la actividad porcícola del país.

## SECTOR INDUSTRIAL

Después de la década de los treinta puede decirse que se inicia el crecimiento rápido del México moderno; desciende la mortalidad infantil, aumentan las expectativas de vida del adulto, baja la producción agrícola que caracterizó al México premoderno y se inicia una corriente de migración del campo a las ciudades.

Posteriormente, en la década de los cuarenta empieza el proceso de industrialización del país, proceso que crecería a un ritmo anual de 8% hasta el final de la década de los setentas en que entra, junto con muchos países, en el proceso de recesión de la economía mundial. Durante esas cuatro décadas de crecimiento, la planta industrial gestada, se concentro principalmente en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara.

Este crecimiento se vio relegado a segundo término por las consideraciones sobre costo y dificultades de abastecimiento de agua, habiéndose observado una serie de efectos derivados de tal situación, entre los que sobresalen la competencia por el uso de fuentes de abastecimiento con el sector urbano y el consiguiente encarecimiento de los servicios.

Por otra parte, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes y la poca importancia dada a su manejo y disposición, han convertido a este sector en un elemento fundamental que debe ser considerado en el control para la preservación del recurso hidráulico cuya disponibilidad se ve comprometida en amplias zonas del país.

En México, el sector industrial se encuentra clasificado en 39 grupos, habiéndose identificado, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación, los señalados en el cuadro 1 como los más importantes dentro de este contexto tales giros corresponden en conjunto prácticamente a 82% del total del agua residual generada por el sector, destacando las industrias azucarera y química con 59.8 por ciento.

Principales giros industriales reponsables de las mayores descargas de agua residual en México.



INDUSTRIA	EXTRACCION	CONSUMO	DESCARGA
AZUCARERA	35.2	22.3	38.8
QUIMICA	21.7	24.4	21.0
PAPEL Y CELULOSA	8.2	16.1	6.0
PETROLEO	7.2	3.7	8.2
BEBIDAS	3.3	6.4	2.4
TEXTIL	2.6	2.4	2.7
SIDERURGICA	2.5	5.5	1.7
ELECTRICA	1.5	4.7	0.7
ALIMENTOS	0.2	0.3	0.2
RESTO DEL SECTOR	0.17	14.1	18.1

Sin embargo, considerando no solamente los volúmenes de agua manejados, sino las circunstancias locales en las cuales se desenvuelve la industria, se han establecido como las más importantes en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del agua en México, las siguientes:

- Azucar y Alcohol
- Refinación de Petróleo y Petroquímica
- Papel y Celulosa
- Curtiduría
- Química
- Textil
- Alimentaria

## SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES

En México, para el tratamiento de agua residual municipal e industrial, se cuenta actualmente con 361 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 25.10 m<sup>3</sup>/s, y en lo que se refiere a plantas de tratamiento de agua residual industrial, existen 282 con una capacidad aproximadamente de 20 m<sup>3</sup>/s.

De lo anterior se deriva que de la descarga total de agua residual municipales que es de 101 m<sup>3</sup>/s solo se tiene capacidad para tratar 24%, además de que aproximadamente la mitad del volumen tratado es para reuso y no para el control de la contaminación. Por lo que respecta al agua residual industrial cuyo gasto es de 79 m<sup>3</sup>/s solo se trata el 25.3 %.

Ahora bien, si todos los sistemas de tratamiento estuvieran operando, que no es el caso (se estima que sólo 50% opera regularmente), se alcanzaría a eliminar una carga orgánica de aproximadamente 233 680 ton. anuales, que representan 10.5% de la carga orgánica total generada en el país, que es de 2 219 643 ton. anuales.

Aunado a lo anterior, en lo que se refiere a los sistemas de alcantarillado, la población del país cuenta con un nivel de servicio de 49%, siendo las localidades rurales las más afectadas por la falta de este servicio, por lo cual han recurrido al uso de fosas sépticas, aunque en mínimo porcentaje.

Asimismo, se ha determinado que, debido principalmente a la falta de autosuficiencia económica y financiera, no ha sido posible ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado como sería deseable y no menos aún la implantación de sistemas de tratamiento. Otros problemas no menos graves son la falta de personal capacitado para la operación y mantenimiento de las instalaciones de alcantarillado y tratamiento de agua.

En las plantas municipales existentes predominan los procesos a base de lagunas de estabilización y de lodos activados, y en los sistemas industriales de tratamiento, la mayoría se efectúa por medio de procesos de lodos activados con coagulación química.

**ZONAS HIDROLOGICAS EN LAS QUE SE LLEVAN A CABO  
ACCIONES DE SANEAMIENTO**

Zona Lerma Chapala. Para lograr el saneamiento integral, de esta cuenca, en la que se genera 15% de la carga orgánica contaminante y 16% del volumen total de agua residual producida en el País, es decir 18 m3/s, de agua residual que aportan 320 000 ton./año de materia orgánica, al 13 de abril de 1989 se firmó un acuerdo de coordinación entre el Ejecutivo Federal y los Gobiernos de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco, para el saneamiento y control de residuos para esta importante zona hidrológica.

Las empresas que han tomado acciones directas para este programa son:

**Comisión Federal de Electricidad.**

**Fertilizantes Mexicanos.**

**Petróleos Mexicanos.**

Otras zonas son:

**ZONA DEL RIO BALSAS**

**ZONA DEL RIO SAN JUAN**

**ZONA DEL RIO BLANCO**

**ZONA DEL RIO PANUCO**

**ZONA DEL LAGO DE PATZCUARO**

**ZONA FRONTERIZA.**

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

México es un país que se caracteriza por una gran variedad de condiciones climáticas y por la enorme diversidad de recursos naturales.

Aún cuando en nuestro país los problemas de contaminación ambiental son de todo tipo, se concede atención relevante a la contaminación del agua. Esto se debe a que aunque la contaminación atmosférica y la producida por desechos sólidos presentan graves consecuencias en las grandes ciudades y centros fabriles, los problemas y sus efectos se restringen a dichas áreas. La contaminación del agua, en cambio, tiene alcances globales y la respuesta del Gobierno Federal a los problemas ocasionados por la contaminación del agua, se inició en 1969, cuando se decidió que se estudiara la situación concreta de contaminación del Río Lerma.

Para ello se crearon organismos Federales a partir de 1971, se promulgaron leyes hasta culminar, en marzo de 1989, con la ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.

Es a principios de la década de los setentas cuando se advierte la competencia que establece en los usos del agua, así como la creciente generación de desechos de todo tipo como resultado de las actividades productivas, los cuales, al incorporarse a los cuerpos de agua, modifican las características de estos y limitan su potencial de aprovechamiento y uso. Se inician entonces de manera formal estudios de calidad del agua en las principales cuencas hidrológicas del país con objeto de conocer el grado de deterioro que habían alcanzado.

Como resultado de los estudios en cuencas específicas, se estableció la necesidad de registrar continua y sistemáticamente la calidad del agua en los principales cuerpos de agua del país, implantándose la red de Monitoreo de la Calidad del Agua, mediante la cual se inició el muestreo y análisis periódico de las características, físicas, químicas y bacteriológicas en sitios ubicados estratégicamente en el sistema hidrogeográfico del país, y que incluía agua superficial, subterránea y zonas costeras.

De acuerdo con el PNPMA 1990-1994 se ha incrementado el número de estaciones de la red de monitoreo de la calidad del agua, se continúan equipando los laboratorios de análisis, y constantemente se actualiza el inventario de fuentes contaminantes.

El programa de monitoreo de la calidad del agua se diseñó con el fin de obtener los datos suficientes que proporcionen información de utilidad en la planeación racional de los usos del agua y en la protección de los ecosistemas acuáticos.

El programa de monitoreo está diseñado para satisfacer los siguientes objetivos:

- . Determinar la calidad del agua existente en los principales cuerpos acuáticos del país y, de acuerdo con sus usos, su aptitud.
- . Obtener un marco de referencia mediante el cual puedan identificarse cambios en el futuro.
- . Evaluar el manejo de agua residual y la eficacia de acciones de prevención y control de la contaminación del agua.
- . Identificar sitios que requieran estudios especiales y/o aumentar el control sobre descargas de agua residual.
- . Establecer prioridades para estudios y controles.

Para ubicar las estaciones de monitoreo se tomaron en consideración las siguientes características de los sitios para coleccionar las muestras:

- . Proximidad de sitios de aprovechamiento del agua para el abastecimiento urbano, industrial y agrícola; zonas de pesca, de recreación y de conservación de la vida acuática silvestre.
- . Representatividad del cuerpo de agua receptor, por consiguiente se ubicaron estaciones en: puntos de referencia en donde se supone no existe influencia de contaminantes; donde se registren los efectos de las descargas de desechos; la zona de recuperación, y cerca de la desembocadura final (en el caso de ríos).
- . Fácil localización y acceso, preferentemente en puentes.
- . Cercanos a estaciones hidrométricas.

Los parámetros de calidad fueron seleccionados de forma que abarquen un panorama general, con base en normas aplicables a toda el agua del país y que observen los siguientes criterios:

- . Usos del cuerpo de agua.
- . Características de las fuentes contaminantes.
- . Grado de afectación en el cuerpo receptor.
- . Disponibilidad de equipo especializado.

## VI.- LA CONTAMINACION DEL AGUA, DEL AIRE Y DEL SUELO.

### AFECTACION DEL AMBIENTE POR CONTAMINACION

#### CONTAMINACION DE AGUAS.

##### Causas de contaminación y resguardo.

Agua sucia y dañina al humano siempre ha existido; basta recordar las diversas condiciones en que se puede hallar el agua cuanto a turbiedad, olor, color y contenido de cuerpos flotantes; con todos estos defectos y aún cuando tenga calidad de potable, solo la naturaleza ha intervenido y por ello no debe ser considerada como degradación, simplemente que ya es así desde su estado natural.

Por tanto cabe aclarar que existe una franca diferenciación entre la contaminación natural y la provocada por el hombre.

La intervención del hombre puede modificar su calidad y no piense que ésto ocurre siempre en forma negativa, porque si en esta natural el agua no es apta para su empleo, la pasa por cierto procesos que la convierte en útil; son los denominados tratamientos de potabilización.

Pero lo que ocurre con demasiada frecuencia, es el cambio que produce en decremento de calidad, del que muchas veces no es tan culpable como se piensa.

La culpabilidad que ahora se le asigna, se debe al volumen de desechos en relación a la capacidad dilutora y de autodepuración de los cuerpos receptores, ya que antiguamente se seguía la práctica tan criticable actualmente, de verter los efluentes directamente sin tratamiento a las corrientes.

Lo que ocurre es que se ha roto el equilibrio ecológico que gobierna esos fenómenos. Intervienen en ésto dos grandes y primordiales factores: 1) el rápido incremento poblacional mundial que ha llevado a un número de habitantes considerado como alarmante; y 2) el volumen disponible de agua, directamente utilizable en procesos vitales, sumamente reducido en relación a la totalidad del agua en el planeta.

## Evaluación de la contaminación.

A fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad, se hace uso de ciertos parámetros característicos que rigurosamente pudieran llegar a ser del orden; sin embargo, no todos son comunes y se reducen para los casos prácticos, a solo unos 15, entre los que se halla OD, DBO, pH, temperatura, turbiedad, C. NMP coliforme y plancton, además de los que pudieran servir en particular y según los objetivos del estudio como: detergente, metales pesados y sustancias tóxicas. Por ejemplo, si el agua que se investiga sostiene una vasta extensión agrícola, será distinta a la destinada para recreación; de todas maneras, subsisten parámetros comunes que son precisamente los mínimos a que se han hecho referencia.

El tipo y forma de análisis a que se someten las muestras, dependen de la magnitud del proyecto, recursos económicos y algo que siempre se escatima: el tiempo disponible.

Es deseable que la investigación se proyecte a tiempos que lleguen a cubrir la intervención de los fenómenos naturales como lluvias, días soleados, cambios de temperatura, ambiente, vientos, etc.; lo que en muchos casos se logra en apenas un año completo. Peor será cuando se incluyan ciclos del plancton, peces y crustáceos.

El número de muestras de los ríos debe ser objeto de estudios minuciosos que finalmente definan el plan a seguir durante la etapa de investigación, ya que de esta información se derivarán los resultados y medidas correctivas a emplear. Es aquí donde debe considerarse el aspecto económico porque implica muchas veces el uso de equipo especializado, personal competente y experimentado así como laboratorios fijos o móviles con todos los elementos para efectuar los análisis solicitados.

Rigurosamente con esta actividad se terminaría la fase de evaluación puesto que la tabla de resultados de los análisis físicos, químicos, biológicos y microscópicos realizados, podrán compararse con los aceptables para el uso a que se destina esa agua y con ello, definir la forma de eliminar o disminuir los parámetros que se consideran en demasía.

Pero falta algo muy importante que no debe descuidarse; se trata por un lado, de conocer la etapa en que se desarrollan esos fenómenos por efecto de la contaminación en cuanto a que ~~se van a producir~~ o ~~tendrán a desaparecer~~.



Lo primero llevaría a evitar o controlar la acción que provoca disturbios; implica que desde la planeación del estudio, se efectúe la investigación correspondiente cubriendo una área que en forma extrema es la misma cuenca de captación. Lo segundo también resulta de la comparación de los datos que arrojan las diferentes estaciones de muestreo.

#### Disturbios ecológicos en aguas contaminadas.

Los efectos que origina ~~una alta carga contaminante en un río~~, son con ligeras modificaciones dadas sus características, los mismos que suceden en un lago; solamente que se reflejan mejor en una corriente, por intervenir directamente como función de la longitud recorrida por el agua o del tiempo transcurrido desde el origen de la contaminación. Al explicarse estos disturbios, también se explica lo que es el proceso natural de autodepuración de las aguas; fenómeno mediante el cual se resguarda la calidad natural y que es aprovechada bajo procesos acelerados en las plantas para el tratamiento de aguas negras o desechos industriales.

Es típico de los lagos y no de los ríos el fenómeno ~~eutrofización que consiste en una sobrepoblación de plantas acuáticas, principalmente de algas y fitoplancton~~, que origina serios cambios físicos, químicos y biológicos en el agua, como consecuencia de adicionar nutrientes tales como fosfatos y nitratos, entre los desechos contaminantes.

La aparición en ciertos lagos y presas del lirio acuático en forma exuberante no es desconocido, así como tampoco lo problemas que causa en las propelas de los motores de las lanchas, haciendo que la navegación prácticamente se nulifique. No es éste el principal efecto, pero sí el más directo e inmediato. lo peor ocurre en el propio seno del agua al impedir la penetración de los rayos solares que auspician la disminución del proceso fotosintético provocando así la asfixia de peces, que junto con otros desperdicios vegetales, constituyen materia orgánica pronta a descomponerse. Al hacerlo se incrementa la DBO y por tanto, la todavía más acelerada disminución del OD.

Así, se podría llegar a provocar una anaerobiosis, dando lugar a procesos sépticos tan ofensivos en todos sus aspectos, que se evitaría el uso recreativo y de natación, nulificaría la productividad pesquera, obstruiría los canales de irrigación y disminuiría la navegación.

## **Evaluación de los efectos ambientales.**

Los cambios que se provocan por contaminar un agua, son claros cuando ya ocurren y es fácil de esa manera llegar a cuantificar lo que provocan desde los puntos de vista ecológicos, estéticos, económicos, sociales, culturales, y a los aspectos más específicos como piscicultura, agricultura, minería, etc.

Siendo tan frágil el ambiente y su ecología, cualquier cambio que se haga lo llega a afectar, así entonces, no es solamente la contaminación de las aguas lo que se debe considerar, sino también toda obra que ejecute el hombre. Esto ha dado origen a una metodología que con las debidas adaptaciones sirve para evaluar los efectos que pudieran provocarse en el ambiente, debido a un proyecto determinado. ~~Se subraya proyecto, porque este estudio debe efectuarse antes y no después de la ejecución de la obra.~~ En el caso de contaminación, deben preverse los efectos que pudiera ocasionar una descarga de ciertas características analizada en forma general auxiliado por las metodologías existentes. Conocido el resultado podrá indicarse bajo que condiciones se permitiría su vertido, incluyendo calidad, caudal y régimen.

~~El efecto hidrológico~~ desde el punto de vista de la contaminación.

### **a) Lluvia**

El vapor de agua condensada en nubes y precipitado en forma de lluvia, es prácticamente puro en altitudes muy grandes. A medida que cae la lluvia absorbe oxígeno, CO<sub>2</sub> y otros gases del aire, así como polvo, humos y vapores; recoge también las bacterias y esporas y vegetales que se encuentran en el aire.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al principio de la precipitación y menor al final. La lluvia que cae en el campo es más limpia que la que precipita en las ciudades; después de una sequía o en una región árida contiene más partículas de polvo que durante la temporada de lluvias o en un lugar sujeto a muchas precipitaciones. Generalmente estas impurezas tienen poco significado sanitario.

## b) Agua superficial

La lluvia al escurrir por la superficie terrestre hacia el mar, ríos, o lagunas, lleva consigo gran cantidad de materia que depende del área y carácter de la cuenca, geología, topografía, extensión y desarrollo realizado por el hombre, época del año y condiciones del tiempo. El agua de las corrientes es generalmente más variable y menos satisfactorias que las de las lagunas y lagos. El agua de regiones calcáreas es más dura pero menos corrosiva que el agua de regiones graníticas. Las fuentes superficiales en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas negras y desperdicios industriales.

### ~~Las Corrientes de agua~~

Durante los períodos de grandes precipitaciones el caudal de las corrientes consta principalmente de agua superficial. En esas temporadas el agua puede ser lodosa, relativamente suave y con un alto contenido de bacterias. En tiempo de sequías el caudal de los ríos contiene una mayor proporción de aguas del subsuelo, por lo cual es más dura que en otras temporadas; las corrientes sujetas al peligro de contaminación por el hombre o sus actividades, pueden tornarse en defectuosas debido a la sobrecarga con materia orgánica putrecible.

La cantidad y naturaleza de los materiales llevados por las corrientes depende del carácter de la superficie, de la inclinación de los declives del valle, del tipo de los bosques, pantanos y de la cantidad de los cultivos. Los suelos arcillosos producen corrientes lodosas y las tierras pantanosas dan notable color al agua. Las corrientes en zonas con fuertes pendientes, provocan arrastres cuyo resultado es la erosión y mayor contenido de limo en sus aguas.

Los bosques funcionan como retardadores del escurrimiento y tienden a uniformizar el caudal de la corriente; pero en bosques con elementos de hojas caidizas provocan aguas con color, en mayor proporción que los que se mantienen siempre verdes.

Los escurrimientos que atraviesan zonas de cultivo llevan limo y partículas de fertilizantes, mientras que las que atraviesan pastizales llevan estiércol y otros desechos orgánicos. En el otoño mucha vegetación muerta es llevada por el viento o por los escurrimientos a las corrientes; en cuencas relativamente poco pobladas llevan considerable contaminación de tipo natural.

Los minerales de las corrientes proceden no solamente de los escurrimientos que adquieren estas sustancias en la superficie del suelo sino también de la disolución en el agua subterránea. Estos minerales solubles aumentan la alcalinidad y la dureza del agua según las cantidades relativas de agua subterránea y agua superficial y el carácter de la formación geológica.

Desde el punto de vista sanitario la contaminación por el hombre o producto de sus actividades, es más significativa. En regiones poco pobladas la contaminación humana es relativamente indirecta, incidental o accidental. En regiones pobladas, la contaminación por aguas negras o desechos industriales es directa. Esta contaminación puede contener gérmenes patógenos por las excreciones humanas o sustancias tóxicas provenientes de los desechos de fábricas.

El grado de deterioro de una corriente es aproximadamente proporcional a la densidad de población en la zona de captación. Como resultado final, la contaminación "natural" y la provocada por el hombre, producen el color, turbiedad, sabores y olores, dureza, bacterias y otros microorganismos en el agua.

La descomposición de los depósitos de materia orgánica en el fondo de las corrientes tienen también un efecto adverso sobre el color, sabor, contenido de hierro y bióxido de carbono.

Las condiciones climatológicas, geográficas e hidrográficas, se encuentran entre los factores que afectan los caracteres físicos, químicos y biológicos de las corrientes de agua. Existen causas naturales que tienden a purificar las corrientes contaminadas y entre ellas se encuentra la cantidad de agua que lleva la corriente en avenidas, que lavan el lecho al arrastrar la materia orgánica depositada, que al descomponerse, alteraría la calidad del agua. Las corrientes rápidas y poco profundas tienen mayor capacidad de autodepuración que las corrientes lentas y profundas, aunque en este último caso la sedimentación puede reducir con más efectividad las materias en suspensión y con ellas las bacterias.

### d) Lagunas y lagos.

El agua que llega a las lagunas y a los lagos es la de las corrientes tributarias. En estos sitios el agua está relativamente quieta; los notables cambios en la calidad se deben a la fuerza de autopurificación. El grado y el carácter de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire. Un largo almacenamiento permite mejor la sedimentación de las materias en suspensión la aclaración del color y la remoción de bacterias; por lo tanto, las aguas almacenadas son de una calidad más uniforme que las de los ríos directamente.

La acción del oleaje produce aguas turbias en la orilla y en algunos casos el crecimiento de organismos microscópicos puede ser considerable en este tipo de agua.

Generalmente en los grandes lagos, la dilución y la autopurificación aseguran la buena calidad de agua que se encuentra lejos de las orillas, a menos que se produzca una contaminación localizada y pasajera debido al movimiento de embarcaciones.

En lagos chicos, la autopurificación es menos completa que en los grandes. En pequeñas lagunas se facilita el crecimiento de algas.

e) Embalses.

Los embalses formados por diques a través de los valles cortados por corrientes, están sujetos a las mismas consideraciones que los lagos y lagunas naturales. Cuando se construyeron los primeros depósitos se arrancaba toda la vegetación del fondo y se quitaba la capa superficial de la tierra para evitar los efectos de la descomposición de la materia orgánica. En los métodos más recientes, se omite la remoción de la tierra y se confía en la elección del punto de admisión y en el tratamiento, para asegurar la calidad satisfactoria del agua; sin embargo, se llegan a tener serios problemas como el narrado por el Ing. Pedro J. Caballero sobre la gran mortandad de peces ocurrida en el inicio de operación de la Presa Miguel Alemán. El motivo fue la inundación, a causa de una avenida del Río Tonto, de una extensa área de vegetación y bosque que cubría el área del vaso; al entrar en descomposición como materia orgánica, consumió la casi totalidad del oxígeno disuelto en el agua provocando la asfixia de los peces. El fenómeno se extendió aguas abajo de la Presa hasta el Río Papaloapan. Económicamente el daño fue muy fuerte para pobladores que dependen en gran parte de la pesca, dando origen además a muy variadas explicaciones del fenómeno.

Una vez que se establece el equilibrio, normalmente el agua de mejor calidad se encontrará a una profundidad media. El agua de la parte superior es propensa a desarrollar algas. El agua del fondo puede contener gran cantidad de  $CO_2$ , Fe, Mn y a veces  $H_2SO_4$ . En lagos y embalses profundos el agua del fondo permanece fría durante todo el año porque se produce una zona permanente de relativo estancamiento a profundidades abajo de 6 m. aproximadamente.

#### f) Agua subterránea.

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se infiltra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, algunas de éstas son fácilmente solubles en el agua, otras como la que causa la alcalinidad y la dureza son solubles en aguas que contienen CO<sub>2</sub> obtenido del aire o de la materia orgánica en descomposición en la tierra. La descomposición de materia orgánica consume el oxígeno disuelto del agua que se infiltra a través de ella. Esta agua exenta de O<sub>2</sub> y con un alto contenido CO<sub>2</sub>, disuelve el hierro y el manganeso del suelo. Las aguas que contienen Fe y Mn favorecen el desarrollo de bacterias del género Crenotrix y otros organismos similares en los depósitos de agua subterránea almacenada; a veces en las aguas subterráneas se produce ácido sulfúrico cuando hay ausencia de oxígeno, descomposición de materia orgánica o reducción de sulfato.

Cuando los suelos están agrietados, ocurre una contaminación directa con la materia orgánica que existe en la superficie.

Las condiciones sanitarias en la proximidad de las fuentes de la agua subterránea son importantes, en particular cuando la contaminación en el subsuelo proviene de letrinas, pozos de absorción y albañales con fugas. En general las aguas subterráneas son claras, frías, incoloras y de mejor calidad que las aguas superficiales de la región en la cual se encuentran. Con respecto a las bacterias, las aguas subterráneas son mucho mejores que las aguas superficiales, salvo en los lugares donde existe contaminación directa.

#### g) Manantiales.

Las aguas de manantial provenientes de estratos someros, se ven más afectados por la contaminación superficial que las aguas profundas. En general sus características de calidad, reflejan la formación geológica del lugar en que surgen; normalmente la cantidad de agua que se obtiene de los manantiales es limitada y puede decirse que su calidad es muy semejante a lo que se ha indicado en las aguas subterráneas.

#### h) Pozos someros y galerías filtrantes.

La calidad del agua proveniente de un pozo que capte agua de estratos someros, estará condicionada principalmente al carácter de la zona de captación. Los pozos someros debidamente protegidos con materiales impermeables satisfactorios, producirán agua de buena calidad.

Las galerías filtrantes como los pozos someros, permiten la infiltración de aguas cuya calidad estará supeditada al tipo de fuente que la alimenta. En general el agua proveniente de la galerías tienen los mismos caracteres indicados para los pozos someros.

#### 1) Pozos profundos.

Las aguas de pozos profundos son generalmente limpias y sin color pero contienen frecuentemente Fe y Mn, cuando entran en contacto con el aire estas aguas, toman un color característico debido a la oxidación de estos metales. Algunas aguas de este tipo tienen un alto contenido de CO<sub>2</sub>. Las aguas de pozos profundos son generalmente buenas desde el punto de vista bacteriológico. Una contaminación temporal puede ocurrir durante la perforación e instalación de equipo y es preciso, por lo tanto, dejar pasar a tiempo después de terminado el pozo, para conocer la calidad exacta del agua extraída.

## LA CONTAMINACION DEL AGUA

Con frecuencia la contaminación del agua es un doble problema para las industrias; por lo general es necesario que las plantas industriales acondicionen el agua antes de usarla, así como también tratar el agua de desecho después de usarla. El pretratamiento del agua es necesario para evitar ciertos problemas.

La siguiente es una lista parcial de algunos de los contaminantes comunes y de las dificultades que causan.

**Alcalinidad:** Son típicamente bicarbonatos, carbonatos y sales caústicas.

**Problemas:** genera incrustaciones, particularmente en calderas.

**Dureza.-** Primariamente son sales de calcio y magnesio; otras sales por ejemplo hierro son también contribuyentes menores.

**Problemas:** incrustaciones, especialmente en calderas.

**Sales de sodio.-** A veces como sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos.

**Problemas:** muy malos para industrias particulares, como las de celulosa y medicamentos.

**Silice (SiO<sub>2</sub>).**

**Problemas:** incrustaciones

**Hierro y Manganeso.-**

**Problemas:** tienden a manchar. Muy objetable en las industrias del papel, téxtil y de curtiduría.

**Aluminio.-**

**Problemas:** por lo general no es un problema para propósitos industriales.



#### Fluoruros.-

Problemas: por lo general no es un problema, excepto quizás en la producción de alimentos de bebés.

#### Dióxido de carbono.-

Problemas: incrementa la alcalinidad, aumenta el comportamiento corrosivo del oxígeno disuelto.

#### Oxígeno.-

Problemas: corroe el hierro, acero, hierro galvanizado y bronce.

#### Nitrógeno.-

Problemas: ayuda a retener el O<sub>2</sub> disuelto en el agua, con lo que incrementa la corrosividad.

#### Sulfuro de hidrógeno.-

Problemas: olor a huevo podrido, corroe la tubería, accesorios y equipos de hierro.

#### Metano.-

Problemas: peligro de fuego y explosión.

#### Microorganismos.-

Problemas: forma cubiertas en tuberías, manchas, huelen y con sabores, descompone sustancias orgánicas como celulosa.

#### Materia Orgánica.-

Problemas: causa sabores, olores, frecuentemente absorbidos por varios procesos, forma suspensiones coloidales coloreadas.

Las descargas de agua de varias industrias tienen muchos de los mismos problemas, mas algunos adicionales, el tipo de contaminante depende de la industria particular y del proceso empleado. Estos contaminantes pueden clasificarse en tres categorías.

1.- Materias flotantes.- Los materiales flotantes típicos pueden ser aceites y grasas, que puedan tener las siguientes consecuencias:

- . enturbian el agua;
- . retardan el crecimiento de plantas acuáticas por el bloqueo de la luz solar y la interferencia con la reareación natural;
- . destruye la vegetación natural en las riberas o márgenes;
- . con frecuencia son tóxicos a los peces y otra vida acuática;
- . destruyen las aves acuáticas;
- . pueden ser un peligro de fuego.

2.- Materia suspendida.- Un ejemplo común de materia suspendida son las "colas" de minerales, que típicamente forman fango y lodos, que ahogan los microorganismos purificadores y arruinan el desove de peces y crías; si la materia suspendida es orgánica, podría descomponerse usando el oxígeno disuelto y producir olores y gases nocivos.

3.- Impurezas disueltas.- Las sustancias disueltas típicas pueden ser ácidos, alcalis, metales pesados e insecticidas; en general, éstas sustancias hacen al agua no-potable y destruyen la vida acuática, por ejemplo, los fenoles, aún en muy bajas concentraciones (0.001 mg/l), dan un sabor y olor muy objetable. Estas sustancias pueden también producir y concentrar sus efectos a través de la cadena normal de alimentos, por ejemplo, un sabor desagradable se tiene cuando se come pescado que ha vivido en agua con concentraciones de fenol de solo 0.0001 mg/l.

No se conoce mucho acerca de los efectos sobre la salud humana de muchos de los contaminantes comunes del agua; los nitratos han sido relacionados con la metahemoglobina y la muerte de niños.

La ingestión de nitratos puede ser reducido por microorganismos en el tracto digestivo a nitritos:

NO3-    microorganismos    NO2-

Los nitritos pueden oxidar el átomo de hierro presente en la hemoglobina de Fe 2+ a Fe 3+, resultando una molécula de metahemoglobina que no es capaz de transportar O2.

Muchas de las otras sustancias comunes probablemente no tienen mayor efecto agudo sobre la salud humana, sin embargo, muchos tienen efectos crónicos, por ejemplo:

- . muchas sustancias orgánicas con cancerígenas;
- . el selenio causa males en los dientes, problemas gastrointestinales y decoloración de la piel;
- . el sodio y el potasio son perjudiciales para personas con ciertos problemas de salud;
- . algunas impurezas del agua parecen ser benéficas,
- . una deficiencia de cromo favorece los males de arteroesclerosis;
- . hay evidencia de que los males cardiovasculares degenerativos se reducen por un factor presente en el agua dura, pero ausente en el agua blanda.

#### BIFENILOS POLICLORADOS, BPC (ASKARELES)

Hay un cierto número de químicos particularmente peligrosos que se han introducido en los sistemas de agua; muchos de éstos químicos son efluentes de la industria o al menos tienen fuentes directas de la industria.

Los BPC's son un ejemplo de contaminantes tóxicos disueltos comunes.

Los bifenilos policlorados (BPC's) o askareles son un bien conocido ejemplo de sustancia tóxica que se ha introducido en muchos de los sistemas naturales de agua. El arroz contaminado con BPC causó una epidemia de desfiguración de la piel, y fue acusado de 16 muertes y de 2 partos muertos en Japón en el año de 1968.

Los BPC's fueron usados por muchos años en "sistemas cerrados" de aplicaciones eléctricas como transformadores; la fabricación de nuevos dispositivos eléctricos que contengan BPC es ahora ilegal y los diseños viejos de equipos están siendo reemplazados gradualmente. A pesar de los controles actuales sobre los BPC's, éstos aún persisten en el ambiente; algunos países los continúan utilizando en lubricantes, papel duplicador, tintas, pinturas, recubrimientos, adhesivos, plásticos, etc.

Con frecuencia los BPC's se filtran de los rellenos de tierra, o entran a la atmósfera por incineración a baja temperatura (se queman de 1200 a 1400°C); adicionalmente, accidentes involucrando viejos transformadores contribuyen apreciablemente a incrementar su cantidad en los sistemas de agua.

Se requieren incineradores de alta temperatura para todos los BPC que se drenan de transformadores, interruptores y capacitores; los transformadores cuando se drenan de BPC's, así como los lodos de drenajes municipales y materiales contaminados por derrames, deben ser incinerados o dispuestos en rellenos químicos.

El efecto sobre la salud exacto de los BPC's está siendo reinvestigado; pruebas de laboratorio han mostrado cáncer de hígado y fallas reproductivas en ratas, gallinas, visones y monos; las personas que trabajan con BPC's, incluyendo empleados de fabricantes muy pequeños y talleres de reconstrucción de transformadores, han experimentado náuseas, males en la piel, infecciones por hongos, irritaciones en la nariz y ojos, y bronquitis asmática.

Estudios que se están llevando a cabo para desarrollar técnicas para remover los BPC's de los sitios de derrame, han mostrado que puede ser más simple de lo considerado; evidencias que están siendo evaluadas indican que la cal mezclada con polvo de los hornos de cemento (conteniendo varias formas de calcio y trazas de metales) neutralizan los BPC's. Se espera que ésta mezcla se coloque en capas sobre el sitio y en varios días el material pueda ser acarreado para su disposición ordinaria; los científicos postulan que una o más de las trazas de metales catalizan la degradación de los BP's, y si este método se valida los costos de limpieza podrían ser de 10 a 20% de los costos de incineración.

La bioremediación o descomposición usando microbios, es otra posible técnica de degradación que está en estudio.

#### DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO, DBO.

Un problema mayor asociado con la contaminación del agua es la "demanda biológica de oxígeno" o DBO.

La DBO es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar biológicamente los contaminantes del agua a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); es por lo tanto una medida de los organismos suspendidos, coloidales o disueltos.

Para medir el nivel de DBO por lo general se permite que la muestra se incube durante 5 (cinco) días; dentro de este período cerca del 70 a 80% de los contaminantes orgánicos presentes se oxidan por los microorganismos presentes. La elección de las unidades usadas por la DBO refleja el peso de O<sub>2</sub>, por lo que las unidades son típicamente kilogramos o libras.

La DBO es importante en la medida en que mientras mas alto es su valor, mas alto es el contenido de organismos en el agua y mas O<sub>2</sub> disuelto será usado para descomponer éstos orgánicos; una falta de O<sub>2</sub> disuelto en el agua, hacen al agua, mata los peces deseados (por ejemplo, trucha). Aunque aún puede haber abundancia de peces, por lo general hay un cambio marcado en los tipos de peces presentes, si la DBO es alta.

En otra forma, la presencia de sustancias orgánicas pueden disminuir el oxígeno disuelto; los orgánicos, junto con el nitrógeno y fósforo, pueden servir primariamente como alimento para las algas. Estas algas son microscopias, plantas color verdosa que viven en el agua; en si mismas no son perjudiciales a los humanos (de hecho, en cantidades limitadas son útiles porque crean O<sub>2</sub> para otra vida acuática para la fotosíntesis), pero son estéticamente feas, molestas y dañan la otra vida acuática cuando proliferan.

El régimen de crecimiento de las algas depende de las condiciones:

. no crecen en aguas profundas, de rápido movimiento, lodosas o turbias, y frías;

. florecen en lagos, estanques y corrientes de movimiento lento y con suficiente suministro de nutrientes disponibles.

Las algas eventualmente mueren y se descomponen; en adición a que producen una nata o espuma lamosa y un olor detestable, requieren O<sub>2</sub> por lo que puede disminuir drásticamente el suministro de O<sub>2</sub> disuelto conforme se produzca su decaimiento.

El suministro limitado de nutrientes particulares actúan como "factor limitante" en el crecimiento y multiplicación de algas; por lo general es muy difícil, si no imposible, controlar el nitrógeno. El desagüe de granjas suministra mucho a lagos y corrientes.

Algunas algas son fijadoras de nitrógeno, y por lo tanto pueden obtener todo el nitrógeno que deseen directamente de la atmósfera; los orgánicos pueden ser controlados algo, pero usualmente los forforados son la meta como el nutriente a tratar de minimizar (de aquí el énfasis sobre los detergentes de bajos fosfatos).

Los mayores contribuyentes de cantidades de DBO son la industria química (44%), la industria de papel y pulpa (27%) y la industria procesadora de alimentos (20%).

Relacionado con la DBO, y a veces medida en su lugar, se tiene la DQO (demanda química de oxígeno).

La DCO es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente los contaminantes a CO<sub>2</sub>.

El valor de la DCO es más alto que la DBO porque oxidantes fuertes son usados que fuerzan a muchas sustancias a reaccionar que no reaccionarían usando microorganismos biológicos; el valor de la DCO representa entonces casi el 100% de los orgánicos totales presentes.

Los sulfitos disueltos y los compuestos ferrosos, que actúan como agentes reductores, pueden también ayudar a agotar el suministro de O<sub>2</sub>.

Efecto de la DBO en los niveles de O<sub>2</sub> disuelto en corrientes.

Cuando un contaminante con alta DBO se descarga en una corriente, el nivel de oxígeno disuelto (OD), aguas abajo decrecerá no-uniformemente pero de una forma predecible; pronto después de la descarga, los orgánicos empiezan a descomponerse y baja el nivel correspondiente del OD. El régimen de reaeración (la disolución de oxígeno del aire) se incrementa, pero por lo general no a un régimen suficiente para evitar el agotamiento del oxígeno en la corriente.

La hundida en el OD se conoce como la "comba de la curva de oxígeno disuelto"; si la concentración de la DBO es suficientemente grande (curva b), el nivel de OD puede temporalmente caer a cero, y la corriente se vuelve anaeróbica.

En cualquier lugar de la corriente, en cualquier tiempo, hay un balance de oxígeno, que es determinado por:

- . la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos para la descomposición de los contaminantes.

- . el régimen de reaeración.

Por lo general se considera que la descomposición es una función exponencial influenciada, entre otros factores, por la temperatura del agua y el tipo de desecho; la reaeración está representada por una función compleja que involucra el promedio de velocidad de la corriente, la temperatura del agua y el déficit de oxígeno, esto es, la diferencia entre el nivel de OD y la cantidad de saturación.

En general, el nivel de OD es afectado más en pequeños estanques y corrientes lentas; los efectos de un contaminante equivalente en grandes y rápidas corrientes puede ser significativamente menor. De mayor interés es el mínimo nivel de OD que puede ocurrir varios kilómetros aguas abajo de la fuente contaminante; este nivel mínimo por lo general puede determinar el tipo y número de organismos acuáticos que pueden sobrevivir en el sistema de agua.

## SISTEMAS DE AGUA ACIDA

Otro problema que se experimenta con frecuencia en los sistemas naturales de agua debido a contaminantes industriales es un cambio en el pH del agua.

Las aguas naturales tienen un pH que varía entre 4.0 y 9.5; algo de esta acidificación ocurre en forma natural. El ácido carbónico, formado por la reacción del  $\text{CO}_2$  y el agua de la atmósfera, es tomado en el proceso de precipitación normal, de forma que el agua de lluvia tiene típicamente un pH de 5.6, sin embargo, las filtraciones ácidas de minas y particularmente la lluvia ácida ha tenido un efecto mayor sobre el pH de muchos lagos y corrientes.

La lluvia ácida puede tener un pH tan bajo como 3.9; en áreas donde están presentes calcio o cal en las rocas o suelo, algo de este ácido es neutralizado.

El pH del agua tiene un efecto mayor sobre el tipo de peces y otras especies acuáticas presentes; un estudio reciente indicó que el pH fué 30% más importante que la temperatura del agua y 50% más importante que el  $\text{O}_2$  disuelto (OD), al menos en el caso de la población de lobinas.

Tanto las truchas como las lobinas prefieren las corrientes alcalinas, aunque puede deberse algo a la ventaja adicional de que por lo general hay más alimento presente.

Por lo general las corrientes alcalinas se encuentran en lugares donde la roca y el suelo contienen  $\text{CaCO}_3$ ; la lluvia con sus pequeñas cantidades normales de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) disuelve el  $\text{CaCO}_3$  presente y forma bicarbonatos de sodio. Este bicarbonato de calcio es una fuente de  $\text{CO}_2$  para la fotosíntesis por las plantas verdes; adicionalmente, el  $\text{CaCO}_3$  en si mismo, es necesario para el crecimiento de crustáceos como cangrejos, langostinos, etc., otra fuente de alimento para los peces.

Las truchas pueden soportar algo las aguas ácidas; de hecho, valores de pH tan bajo como 5.0 son posibles, sin embargo, en estas condiciones el crecimiento no es bueno.

## OTRAS CONSIDERACIONES

En general, la industria manufacturera es la principal fuente de contaminantes del agua controlables, hechos por el hombre; adicionalmente a las grandes cantidades producidas, los desechos industriales son también mucho más parecidos que otros tipos de desechos en contenido de químicos que no son biodegradables, sustancias orgánicas tóxicas y trazas de elementos que deben ser removidos.

Cuando se considera el control y la gestión de los contaminantes del agua, es necesario considerar, en adición a la naturaleza de los contaminantes, también como éstas sustancias viajan a través de los sistemas de agua; conforme viajan, los contaminantes pueden ser degradados por procesos químicos, físicos o biológicos.

Los contaminantes del agua migran por flujo o convección, se dispersan en los sistemas de agua por difusión y/o mezcla; con objeto de tomar la mejor decisión de como manejar éstos desechos de agua, es necesario considerar todos los procesos de degradación y todos los transportes. Solo en ésta forma se pueden tomar decisiones inteligentes sobre que contaminantes deben removerse y cuales deben permanecer en el efluente.

El tamaño de las partículas contaminantes también afectan su comportamiento; los tamaños pueden ser categorizados como sigue:

- |                   |               |                     |
|-------------------|---------------|---------------------|
| . asentables      | > 100 um      | - orgánicos grandes |
| . supracoloidales | - 1 - 100 um  | - orgánicos grandes |
| . coloidales      | - 1 mm - 1 um | - bacterias, virus  |
| . solubles        | - < 1 mm      | - inorgánicos       |

Las partículas grandes pueden absorber y unir varias sustancias en su superficie, y entonces actuar como lugares para promover el crecimiento bacterial; la arcilla puede absorber orgánicos disueltos como pesticidas. Estas arcillas pueden entonces asentarse en el fondo del lago o corriente, y en ésta forma los pesticidas y otros orgánicos se incorporan a los sedimentos. La liberación de estos contaminantes de regreso al cuerpo del agua no está clara, y puede plantear serios problemas en la limpieza de las aguas contaminadas.



El uso intencional de sistemas de suelos para filtrar y absorber desechos y remover aún bacterias y virus ha tenido alguna aplicación limitada industrial; con frecuencia, los sistemas de suelos pueden degradar compuestos indeseables a iones estables, normalmente encontrados en el agua subterránea, por ejemplo a nitratos, fosfatos, carbonatos y sulfatos.

Por otra parte, algunos iones de cromatos, cianuros y muchas otras sustancias tóxicas no son degradadas y pueden migrar muchos kilómetros bajo tierra, contaminando suministros de agua lejos de la fuente contaminante.

## LA CONTAMINACION DEL AGUA

### Evaluación de la contaminación.

A fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad, se hace uso de ciertos parámetros característicos que rigurosamente pueden llegar a ser del orden de cientos; sin embargo no todos son necesarios para la mayoría de las investigaciones, pudiéndose disminuir a solo decenas. Entre éstos se hallan las determinaciones de oxígeno disuelto, DBO, DQO, pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, NMP coliforme y plancton. Además los que pudieran servir en particular y según los objetivos del estudio como: detergentes, metales pesados y sustancias tóxicas. Por ejemplo, si el agua que se investiga sostiene una basta extensión agrícola, los parámetros solicitados en el análisis serán diferentes a los del agua que se usa para producción de peces y también serán distintos a los del agua destinada para recreación; de todas maneras, subsisten parámetros comunes que son en general los mínimos a que se ha hecho referencia.

El tipo y forma de análisis a que se someten las muestras dependen de la magnitud del proyecto, recursos económicos y algo que siempre se escatima: el tiempo disponible.

Es deseable que la investigación se proyecte a tiempos que lleguen a cubrir la intervención de los fenómenos naturales como lluvias, días soleados, cambios de temperatura, ambiente, vientos, etc; lo que en muchos casos se logra en apenas un año completo. Peor será cuando se cubran ciclos vitales de plancton, peces y crustáceos.

El número y frecuencia de los muestreos debe ser objeto de estudios minuciosos que finalmente definan el plan a seguir durante la etapa de investigación ya que de esta información se derivarán los resultados y medidas correctivas a emplear. Es aquí donde debe considerarse el aspecto económico porque implica muchas veces el uso de equipo especializado, personal competente y experimentado, así como laboratorios fijo o móviles con todos los elementos para efectuar los análisis solicitados.

Rigurosamente con estas actividades se inicia o complementa la fase de evaluación puesto que la tabla de resultados de los análisis físicos, químicos, biológicos y microscópicos realizados, podrán compararse con los valores aceptables para el uso a que se destina esa agua y con ello, definir la forma de eliminar o disminuir los contenidos que se consideren en demasía. Sin embargo, esta evaluación solo puede ser hecha por un experto y quizá varíe según el criterio de un investigador a otro. por eso se ha buscado y se propone una metodología para definir un índice de calidad que es producto de teorías expuestas por especialistas en el ramo.

## Indice de calidad.

Mediante el índice de calidad se logra un patrón de comparación entre los distintos cuerpos de agua, comprendido con mayor claridad por el público en general. No obstante que se logra un valor de conjunto, debe considerarse el resultado de cada uno de los parámetros que intervienen, con objeto de dilucidar efectos específicos. En parte esta observación está contemplada al definir la curva y su ecuación de los factores, así como por el coeficiente que se propone asignarle por importancia a cada parámetro.

El índice de calidad varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad óptima. Se puede conocer aplicando la ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

I = Índice de calidad general

I<sub>i</sub> = Índice de calidad del parámetro considerado

W<sub>i</sub> = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado.

La tabla Nº 25 contiene los valores de la importancia relativa para 18 parámetros que se proponen como básicos en el estudio de referencia.

**TABLA N° 25**

**IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS PARAMETROS PARA  
DEFINIR EL INDICE DE CALIDAD.**

<b>Parámetro</b>	<b>Importancia relativa</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Importancia relativa</b>
pH	1.0	N de nitratos	2.0
Color	1.0	N amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes (SAM)	3.0

**Fuente: SARH (1979)**

TABLA N° 26

USOS DEL AGUA SEGUN INDICE DE CALIDAD

100	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE	ACEPTABLE	
90	LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA LOS RIOS PROCESOS			
80	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO			ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE			SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL
70		EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES DUBOSO PARA ESPECIES SENSIBLES					
60	DUBOSO	DUBOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA			
50							SIN CONTACTO CON EL AGUA
40	INACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO	INACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO			RESTRINGIDO
30		INACEPTABLE		INACEPTABLE			INACEPTABLE
20		INACEPTABLE		INACEPTABLE			INACEPTABLE
10	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA			NAVEGACION
0					TRANSPORTE DE DESECHOS TRABAJADOS		

## AGUA NEGRA

El Agua negra es fundamentalmente el agua de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y el agua subterránea, superficial o de precipitación que puedan agregarse.

**Volúmen.**— La cantidad o volúmen del agua negra que se produce varía de acuerdo con la población y depende de muy diversos factores. Un municipio exclusivamente residencial que tenga alcantarillas bien construidas a las que no entre el agua de precipitaciones pluviales, puede producir unos 160 litros por persona y por día, mientras que una población industrial o que tenga un gasto de agua para usos domésticos muy alto, podrá producir unos 800 litros o más por persona y por día. En algunos países se considera como promedio razonable la cifra de 400 litros por persona y por día, aunque esta cifra tiende a aumentar por el uso cada vez mayor de máquinas automáticas de lavado de ropa, lavadoras de loza y molinos de basura. Naturalmente, el promedio es mucho mayor cuando el agua negra pluvial entra a las alcantarillas que acarrean desechos domésticos e industriales.

### Origen del agua negra y de los desechos

El agua negra puede ser originada por:

- a) Desechos humanos y animales.
- b) Desperdicios caseros.
- c) Corrientes pluviales.
- d) Infiltraciones de aguas subterráneas.
- e) Desechos industriales.

**Desechos humanos y animales.** Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte del agua negra, mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento del agua negra para su disposición.

**Desperdicios caseros.** — Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso común en las labores domésticas. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que, con el uso cada vez mayor de aparatos domésticos para moler basura, se están convirtiendo en la parte más importante de los desechos caseros.

**Agua de lavado de las calles y corriente pluvial.** La lluvia deposita cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que este escurrimiento pluvial vaya al alcantarillado o drenaje que sirven para coleccionar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante del agua negra. En otras, se coleccionan aparte estos escurrimientos para su disposición y no se mezclan con el agua negra de la comunidad. El volumen de la corriente pluvial varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y la superficie pavimentada y techada. El agua pluvial proveniente de zonas cubiertas, tiene importancia especial en lo que respecta al volumen de agua negra que va a tratarse, cuando se conectan a las alcantarillas, de las que se supone deben excluirse, lo cual se hace frecuentemente a pesar de no estar permitido por las leyes vigentes.

**Infiltraciones de agua subterránea.** El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para coleccionar el agua negra, va soterrado, y en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. El drenaje colector usualmente no funciona a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, sino que son siempre considerables. El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarilla que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas.

Desecho industrial. Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante del agua negra de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas regiones se colecta el desecho industrial junto con otros componentes del agua negra de la población para su tratamiento y eliminación final. Este desecho varía mucho por su tipo y volumen, pues depende de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En algunos casos es tal el volumen y característica del desecho industrial, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final del agua negra de la comunidad, o que dañan las alcantarillas y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente al agua negra, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado.

#### Definiciones

Se han dado nombres descriptivos a los diferentes tipos de agua negra según su procedencia, como se ha descrito anteriormente. Las definiciones correspondientes son las siguientes:

**Agua negra doméstica:** Es la que contiene desecho humano, animal y casero. También se incluye la infiltración de agua subterránea. Esta agua negra es típica de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o sólo en muy corta escala.

**El agua negra sanitaria:** Es la misma que la doméstica, pero que incluye no solamente el agua negra doméstica, sino también gran parte, si no es que todo el desecho industrial de la población.

**El agua pluvial:** Esta formada por todo el escurrimiento superficial de la lluvia, que fluye desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.

**El agua negra combinada:** Es una mezcla del agua negra doméstica o sanitaria y del agua pluvial, cuando se colectan en las mismas alcantarillas.

**El desecho industrial:** Es el agua de desecho provenientes de los procesos industriales. Pueden colectarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte del agua negra sanitaria o combinada.



## Aspecto del agua negra

El agua negra es un líquido turbio que contiene material sólido en suspensión. Cuando es fresca, su color es gris y tienen un olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de materias: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En este estado se denominan agua negra séptica.

## Composición del agua negra

El agua negra consiste de agua, de los sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

Estos sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando. Se ha establecido como tipo de pureza aceptable la idea de 99.44 por ciento. Por término medio, el agua negra doméstica, que contiene más de 99.44 por ciento de agua, satisfacen un requisito de pureza más estricto. No obstante, ese menos de 0.1 por ciento de sólidos del agua negra, es una impureza más significativa e importante que el 0.56 por ciento de impurezas del jabón.

## Los sólidos del agua negra

Los sólidos del agua negra pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Tenemos así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos. Esta clasificación se muestra en la figura junto con sus definiciones.

## Definiciones de los sólidos del agua negra

**Sólidos orgánicos.** En general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos; además son combustibles, es decir, pueden ser quemados.

**Sólidos inorgánicos.** Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones que se estudiarán más adelante, pueden descomponerse en sustancias más simples, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral. Por lo general, no son combustibles.

La cantidad de sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, en el agua negra, les dan lo que frecuentemente se conoce como su fuerza. En realidad, la cantidad o concentración de sólidos orgánicos, así como su capacidad para degradarse o descomponerse, son la parte principal de la fuerza de una agua negra. A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde mayor fuerza del agua negra. Por lo tanto se puede definir que el agua negra fuerte es la que contiene gran cantidad de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos y el agua negra débil la que contiene pequeñas cantidades de sólidos orgánicos.

Como ya se ha hecho notar, los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo con su condición física, como sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos, incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

SOLIDOS  
TALES  
00

SOLIDOS  
SUSPENDIDOS  
200

SOLIDOS  
SEDIMENTABLES  
120

ORGANICOS  
90  
INORGANICOS  
30

SOLIDOS  
SE  
DI  
MEN  
TA  
BLES  
120

SOLIDOS  
COLOIDALES

ORGANICOS  
55  
INORGANICOS  
25

SOLIDOS  
COLOIDALES  
120

SOLIDOS  
TOTALES  
600  
ppm  
ppm

SOLIDOS  
DISUELTOS

SOLIDOS  
COLOIDALES  
40

ORGANICOS  
30  
INORGANICOS  
90

SOLIDOS  
DISUELTOS  
260

ORGANICOS  
125  
INORGANICOS  
235

SOLIDOS  
DISUELTOS  
360

CONDICION FISICA Y DE LOS SOLIDOS  
AGUA NEGRA DOMESTICA MEDIA

**Sólidos suspendidos.** Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Son los sólidos que pueden separarse del agua negra por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración. Se definen más exactamente como los sólidos que quedan retenidos por la capa filtrante, de asbesto, en un crisol Gooch. Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos y por un 30 por ciento de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos últimos arena y polvos.

Los sólidos suspendidos se dividen en dos partes: sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

**Sólidos sedimentables.** Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un periodo determinado, que generalmente es de una hora. Debe entenderse que son los sólidos que se sedimentan en una hora. Debe entenderse que son los sólidos que se sedimentan en una hora en un cono de Imhoff. Generalmente el resultado se expresa en mililitros de sólidos por litro de agua negra, pero también se da en partes por millón, en peso, como se especifica en la figura. Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y 25 por ciento de inorgánicos.

**Sólidos coloidales suspendidos.** Se definen algo indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. En la actualidad no hay una prueba sencilla o normal de laboratorio que sirva específicamente para determinar la materia coloidal. Una parte de éstos se sedimentarían si el periodo de reposo en la prueba del cono de Imhoff fuese mayor de una hora; pero la mayor parte permanecería en suspensión durante periodos mayores, de varios días o más. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40 por ciento) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos, pero que no pasan por la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. Su composición es orgánica en unas dos terceras partes, e inorgánicas en el resto; están sujetas a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición del agua negra.

**Sólidos disueltos.** El término "sólidos disueltos", utilizado ordinariamente en los estudios de agua negra, no es técnicamente correcto. No todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De acuerdo con la costumbre, el término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por 40 por ciento de orgánicos y 60 por ciento de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta, debido a que ésta incluye a todas las sales minerales de agua de abastecimiento.

**Sólidos totales.** Como lo indica el mismo término, bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos del agua negra. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. En el agua negra doméstica de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. Es esa mitad orgánica de los sólidos sujeta a degradación la que constituye el problema principal del tratamiento del agua negra.

Como ya se ha hecho notar, las cantidades de los diversos tipos de sólidos, tal como se señala en la figura, y según se han mencionado a través del texto, están basadas en una agua negra doméstica de composición media equivalente a unos 400 litros per capita y por día. La adición de las corrientes de agua pluvial o infiltración de agua subterránea puede alterar notablemente las relaciones entre los sólidos. De manera similar, la introducción de desechos industriales puede aumentar el contenido de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos, con variaciones muy definidas en la fuerza del agua negra. También debe notarse que las aguas negras varían grandemente, tanto en composición como en volumen, de hora en hora, de acuerdo con los cambios de actividades de la comunidad. Evidentemente que el agua negra tendrá su fuerza y volumen máximo durante el día y su mínimo durante la noche. Igualmente varía la composición del agua negra de día a día de acuerdo con la clase de actividades industriales y las de la comunidad donde se originan. Durante los domingos, los fines de semana y los días de fiesta, se reducen frecuentemente los volúmenes y fuerza debido a la menor actividad de la población. Cualquier tabla de composiciones del agua negra solamente proporcionará una composición media. Las cantidades de sólidos indicadas no podrán aplicarse igualmente a toda el agua negra en todo tiempo.

## Gases disueltos

El agua negra contiene pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos. Entre los gases más importantes está el oxígeno, presente en el agua original del abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire, el agua negra que fluye. Este oxígeno, que familiarmente se conoce como oxígeno disuelto, es un componente sumamente importante del agua negra y, su función se estudiará con detalle más adelante. Además del oxígeno disuelto, el agua negra puede contener otros gases, como el hidrógeno de carbono, que resulta de la descomposición de la materia orgánica; el nitrógeno disuelto de la atmósfera; el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos del agua negra e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento.

Líquidos volátiles. El agua negra puede contener líquidos volátiles. Por lo general se trata de líquidos que hierven a menos de 100 grados centígrados (212 Fahrenheit), como, por ejemplo, la gasolina.

## Composición biológica del agua negra

El agua negra contiene también incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en el agua negra y su presencia es de suma importancia porque con uno de los motivos para el tratamiento de esta agua, y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende de sus actividades. Puede decirse con razón, que ellos son los trabajadores que emplea un operador de plantas de tratamiento de agua negra y que su éxito puede medirse por su conocimiento y atención a los gustos y aversiones de sus hábitos nutritivos y ambientales.

Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos.

**Bacterias.** Las bacterias son organismos vivos, de tamaño microscópico, que constan de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones, son similares a los de los vegetales. Algunas bacterias son móviles, es decir, que son capaces de moverse libremente por su propia fuerza, y otras son inmóviles. Las bacterias requieren, como todos los organismos vivos, alimentos, oxígeno y agua. Sólo pueden existir cuando el medio ambiente provee a estas necesidades. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a productos de desecho.

Las bacterias se clasifican en dos grupos principales: bacterias parásitas y bacterias saprófitas.

**Bacterias parásitas.** Son las que viven normalmente a expensas de otro organismo vivo. Llamado huésped, porque necesitan recibir el alimento ya preparado para consumirlo; generalmente no se desarrollan fuera del cuerpo del huésped. Las bacterias parásitas que tienen importancia en el agua negra, provienen por lo general del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas deyecciones van a parar al agua negra. Entre las bacterias parásitas se incluyen ciertos tipos específicos que, durante su desarrollo en el cuerpo del huésped, producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad al huésped. Estas bacterias se conocen como bacterias patógenas. Pueden estar presentes en el agua negra que reciban las deyecciones de personas afectadas por enfermedades tales como la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera, u otras infecciones intestinales. La posible presencia de estos microorganismos en el agua negra, es una de las razones por las cuales deben colectarse cuidadosamente, tratarse en forma adecuada y disponer de ellas de manera segura, para prevenir cualquier transmisión de estas bacterias patógenas de una a otra persona.

**Bacterias saprófitas.** Son las que se alimentan de materia orgánica muerta, descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el sustento necesario, y produciendo a su vez sustancias de desecho que consisten en sólidos orgánicos e inorgánicos. Por esta actividad son de suma importancia en los métodos de tratamiento del agua negra ideado para facilitar o acelerar la descomposición natural de los sólidos orgánicos. Tales procesos de descomposición no prosperarían sin su actividad. En ausencia de vida bacteriana (esterilidad) no tiene lugar la descomposición. El agua negra estéril no se sujeta a los mismos tipos de descomposición en que se basan los métodos comunes de tratamiento. Hay muchas especies de bacterias saprófitas y cada una de ellas desempeña un papel específico en la descomposición de los sólidos orgánicos. Cada especie tiende a morir una vez que ha cumplido su misión en el proceso de descomposición.

Todas las bacterias, parásitas o saprófitas, necesitan oxígeno para su respiración, además de alimento. Algunas de ellas solamente pueden usar el oxígeno disuelto en el agua, el cual se conoce como oxígeno disuelto y a veces también como oxígeno libre o molecular. Estos organismos se conocen como bacterias aerobias y el proceso de degradación de sólidos orgánicos que llevan a cabo se denomina descomposición aerobia, oxidación o degradación. Este tipo de descomposición se lleva a cabo en presencia del oxígeno disuelto, sin que se produzcan olores ofensivos o condiciones desagradables. Otros tipos de bacterias no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto, sino que tienen que obtenerlo del contenido de oxígeno de los sólidos orgánicos y de algunos inorgánicos, el cual se hace aprovechable en la descomposición de los sólidos. A tales microorganismos se les conoce como bacterias anaerobias y al proceso de degradación de sólidos que llevan a cabo se le conoce como descomposición anaerobia o putrefacción, es decir, es la descomposición en ausencia de oxígeno disuelto, que da origen a olores ofensivos y condiciones desagradables.

En las complicadas reacciones que se verifican en la degradación de la materia orgánica, ciertos tipos aerobios se adaptan por sí mismos a vivir y funcionar en ausencia de oxígeno disuelto y se conocen como bacterias aerobias pueden llegar a adaptarse a vivir y desarrollarse en presencia del oxígeno disuelto y por esto se conocen como bacterias anaerobias facultativas.

Esta adaptabilidad de las bacterias saprófitas a diversas fuentes de oxígeno, es de gran importancia en la descomposición de los sólidos orgánicos del agua negra, y por tanto, en los diversos procesos de tratamiento.

Además de alimento y oxígeno, las bacterias requieren humedad para mantenerse vivas, lo cual queda adecuadamente resuelto en el agua negra por su contenido acuoso.

Para lograr una eficiencia máxima en su función, las bacterias requieren una temperatura favorable. Son muy susceptibles a los cambios de temperatura, en lo que respecta a su velocidad de desarrollo, reproducción, la cual es directamente proporcional a la cantidad de trabajo desarrollado que es clara y prontamente afectado por tales variaciones. La gran mayoría de los tipos saprófitos prosperan mejor a temperaturas que varían de 20°C a 40°C, o sea de 68°F a 104°F. Estos tipos se conocen como mesofílicos. Las variaciones fuera de este ámbito de temperatura, limitan la actividad de las bacterias mesofílicas, eliminándose prácticamente a temperaturas estrechamente bajas o altas.



La digestión mesofílica de los lodos se lleva a cabo más rápidamente a 35°C, o sea a 95°F. Otras bacterias viven mejor a altas temperaturas, dentro del ámbito de 55°C a 60°C (de 130°F a 140°F). Estas se conocen como tipos termofílicos. Las bacterias termofílicas trabajan principalmente en el tratamiento del agua negra durante la digestión, a altas temperaturas, de los sólidos de los lodos. Unos cuantos tipos de bacterias encuentran sus condiciones óptimas a bajas temperaturas, desde 0 hasta 5°C (de 32 a 40°F). Estas se conocen como bacterias psicrófilicas. En consecuencia, las temperaturas son de primordial importancia en la operación de los procesos de tratamiento de agua negra.

Cuando todas estas condiciones ambientales, como son el abastecimiento alimenticio, el oxígeno, la humedad y la temperatura, se mantiene en forma adecuada y en cantidades suficientes para el pleno funcionamiento de las bacterias, la descomposición de los sólidos del agua negra se lleva a cabo de manera naturalmente ordenada.

Otros organismos microscópicos. Además de las bacterias, se encuentran en el agua negra otros organismos vivos, de tamaño tan pequeño, que sin el microscopio no son visibles. También están presentes en gran cantidad, aunque no en densidades tan grandes como las diversas especies de bacterias. Estos otros microorganismos tienden a ser mayores y de estructura más compleja que las bacterias. Algunos son animales y otros vegetales. Todos provienen del suelo o de los desechos orgánicos que van a formar parte del agua negra. Algunos son móviles (capaces de moverse) y otros no lo son. Todos requieren alimento, oxígeno y humedad. Pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos en lo que respecta a sus requerimientos de oxígeno. Su desarrollo es afectado por la temperatura del medio ambiente casi en el mismo grado que las bacterias. Estos organismos también actúan en la descomposición y degradación de los sólidos orgánicos en el agua negra. Ellos emplean a los sólidos como alimento y producen desechos cuya estructura química es más sencilla. Estos productos de desecho, a su vez sirven frecuentemente como alimento para ciertos tipos de bacterias saprófitas. Muchas de las formas más grandes son predadores por naturaleza y predominan sobre otros organismos, especialmente sobre las bacterias.

Organismos macroscópicos. Además de los dos grupos de organismos microscópicos que ya se han descrito, muchos organismos más grandes y más complejos toman parte en la descomposición de la materia orgánica. A éstos se le llama macroscópicos, es decir, visibles a simple vista. En éstos se incluyen algunas variedades de gusanos e insectos en diversos estados de desarrollo. Algunos son activos aprovechando los recursos del tratamiento de las aguas negras y otros prevalecen en corrientes altamente contaminadas por aguas negras u otros desechos orgánicos.

Algunas formas de todos estos organismos, microscópicos y macroscópicos, son esenciales para la descomposición ordenada de la materia orgánica en la naturaleza, y por consiguiente, son igualmente esenciales para el funcionamiento adecuado de los métodos usuales de tratamiento del agua negra. De hecho, los organismos biológicos son los que en realidad llevan a cabo el proceso de tratamiento y la única responsabilidad del operador consiste en procurar las condiciones ambientales adecuadas que mejor se ajusten a ellos.

Virus. Hay otra forma de vida que se encuentra en el agua negra, interesante para el operador de plantas de tratamiento del agua negra: la de los virus. Estos son todavía más pequeños que cualquiera de los otros organismos microscópicos, y demasiado pequeños para poder ser observados al microscopio ordinario que se usa en los trabajos de bacteriología. No tiene un papel importante en el proceso de tratamiento del agua negra; su importancia estriba en que, como las bacterias patógenas, son los agentes causales de cierto número de enfermedades en el hombre. Algunos, como el virus de la hepatitis, se desarrollan en los intestinos del hombre y son arrastrados por las materias fecales hasta el agua.

### Estado del agua negra

La extensión y naturaleza de la descomposición bacteriana de los sólidos en el agua negra, ha dado origen a ciertos términos que describen las condiciones o estado del agua negra.

Agua negra fresca, como su nombre lo indica, es el agua negra en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado los sólidos al agua. Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua del abastecimiento y permanece fresca mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica. Esta agua negra es turbia, con sólidos en suspensión o flotando, de color grisáceo y tienen un olor mohoso no desagradable.

Agua negra séptica. El término describe al agua negra en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que ha entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases. Esta agua negra se caracteriza por su color negrozco, su olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos y flotantes de color negro.

Agua negra estabilizada. Es el agua negra en la que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes que no están sujetos a descomposiciones ulteriores, o que son descompuestos muy lentamente. El oxígeno disuelto está nuevamente presente por haber sido absorbido de la atmósfera; su olor es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos.

### Cambios químicos en la composición del agua negra

La actividad de la vida biológica en el agua negra produce muchos cambios en la composición química de su sólidos. Estos cambios químicos, o más bien dicho, cambios bioquímicos (puesto que se llevan a cabo debido al desarrollo biológico) no solamente indican las actividades de los microorganismos, sino que miden también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

En el tratamiento del agua negra, la fuerza física de la gravedad disminuye materialmente los sólidos suspendidos y en especial aquellos que corresponden a la porción sedimentable. Los cambios bioquímicos producen, sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos. Esta pérdida de agua hace que se aglomeren o flocculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sólidos sedimentados, tanto orgánicos como inorgánicos, que se separan, se conocen respectivamente como lodos y arenas.

Por la descomposición anaeróbica el oxígeno es eliminado de los compuestos complejos y se forman otros más sencillos. Tales reacciones bioquímicas continúan y paso a paso los compuestos complejos se degradan hasta que se llega a un producto final formado de sustancias inorgánicas y orgánicas estables.

## DISPOSICION DEL AGUA NEGRA

Como ya se especificó anteriormente el agua negra es el agua de desecho originada por la actividad vital de una población. En su composición figuran sólidos orgánicos disueltos y suspendidos los cuales son putrescibles y por lo tanto sujetos a degradación. El agua negra contiene también un número incalculable de organismos vivos, como bacterias y otros microorganismos, cuyas actividades vitales son las que causan el proceso de descomposición. Cuando la degradación se lleva a cabo en condiciones anaerobias, es decir, en ausencia de oxígeno disuelto en el agua negra, resultan condiciones ofensivas que originan olores y apariencias desagradables. Cuando la degradación ocurre en condiciones aerobias, es decir, en presencia de oxígeno disuelto, no da esos resultados y el proceso marcha con gran celeridad.

Es muy importante la promoción de la limpieza y eliminación de las insundicias y desechos hasta una área alejada del centro de actividad. Solo con estas prácticas puede mantenerse el medio ambiente en condiciones aceptables e inocuas. Entre los detritus de la actividad vital se encuentran las bacterias productoras de enfermedades (patógenas) y los virus, los cuales pueden ser transmitidos fácilmente, por medio del agua negra, de los individuos enfermos a los sanos. Es necesario contar con procedimientos regulados adecuadamente para disponer del agua negra a fin de proteger la salud de la población y mantener la limpieza del medio ambiente para el bienestar de los habitantes.

Hay que establecer una clara distinción entre el término "disposición del agua negra", y el término "tratamiento del agua negra". Toda el agua negra tiene que ser evacuada o dispuesta. Algunas se sujetan a diferentes tipos de tratamiento antes de su disposición, mientras otras no reciben tratamiento antes de evacuarlas o disponerlas.

### Tratamiento del agua negra

El tratamiento del agua negra es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completado todo proceso de tratamiento, es aun necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado.

## Disposición del agua negra

Hay tres métodos a seguir para llevar a cabo la disposición final del agua negra:

**Disposición por irrigación.** Consiste en derramar el agua negra sobre la superficie del terreno, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Excluyendo una pequeña parte que se evapora, el resto se resaca en la tierra y suministra humedad, así como pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes para la vida vegetal. Este método sólo es aplicable a pequeños volúmenes de agua negra proveniente de poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone de la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en las que tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Si se cultivan las zonas de disposición, deben excluirse de los drenajes los desechos industriales que pudiesen ser tóxicos o impedir el desarrollo de la vegetación. Como quiera que siempre existe la posibilidad de que el agua negra contenga organismos patógenos, no es conveniente la producción de alimentos para consumo humano que hayan de ser ingeridos sin cocimiento.

**Disposición subsuperficial.** Este método consiste en hacer llegar el agua negra a la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlazedos. Usualmente así sólo se elimina el agua negra sedimentada proveniente de instituciones o residencias en las que su volumen es muy limitado. Como este método tiene muy poca aplicación en las municipalidades, el estudiarlo con detalle sería de escaso valor en este manual.

**Disposición por dilución.** Este método consiste simplemente en descargar el agua negra en agua superficial como la de un río, un lago o un mar. Esto da lugar a la contaminación del agua receptora. El grado de contaminación depende de la dilución, o sea del volumen del agua negra y de su composición, en comparación con el volumen del agua con que se mezclan. Cuando es pequeño el volumen de agua negra y su contenido orgánico, en comparación con el volumen del agua receptora, el oxígeno disuelto presente en el agua receptora es suficiente para que se produzca la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos del agua negra no desarrollándose condiciones molestas. Sin embargo, aunque las aguas receptoras mantengan su condición aerobia, la contaminación bacteriana sigue siendo una amenaza para la salud, y si no se eliminan del agua negra los sólidos flotantes, éstos serán una evidencia de la contaminación.

En los casos en que el oxígeno disuelto del agua receptora no sea suficiente para mantener la descomposición aerobia, tendrá lugar la descomposición anaerobia y la putrefacción, resultando de esto condiciones indeseables. No es precisamente el volumen del agua negra lo que puede considerarse como valor crítico, sino más bien la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición que contengan. Por esto es que un determinado volumen del agua negra que ha sido tratada para disminuir o eliminar su materia orgánica, puede descargarse en una superficie de agua natural sin crear condiciones indeseables, mientras que el mismo volumen del agua cruda o sin tratar podrían producir molestias. El factor determinante es el oxígeno disuelto que contenga el agua receptora.

### Función del oxígeno disuelto en las aguas receptoras

Cuando se descarga en el agua los sólidos del agua negra, tienen lugar la degradación y la descomposición debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en el agua negra y en la agua receptora. El oxígeno es necesario para que se verifiquen todas esas reacciones biológicas y bioquímicas. Como ya se ha dicho anteriormente, son los organismos aerobios los que hacen este trabajo si hay oxígeno presente y es la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos la que tiene lugar. Cuando no hay oxígeno, son los organismos anaerobios los que predominan y resulta la putrefacción. Por consiguiente, cuando se descarga agua negra en una corriente, las reacciones resultantes dependerán del oxígeno disuelto que contenga el agua.

El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de 0 C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. Esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15 C la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10.0 ppm. Cuando la concentración de oxígeno, o sea la reaeración. Por medio de la reaeración se consigue oxígeno disponible adicional para la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos putrescibles.

## Demanda bioquímica de oxígeno (DBI)

La cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos del agua negra o desechos, es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Como esta descomposición requiere un período grande de tiempo y depende de la temperatura, los valores de la DBO de las pruebas de laboratorio deben especificar el tiempo y la temperatura usados en la prueba. Los que más generalmente se emplean son 5 días y 20°C y, a no ser que se especifique otro tiempo y temperatura, debe suponerse que fueron éstos los que se emplearon.

## AUTOPURIFICACION

Cuando se descarga agua negra en una corriente, continua la degradación y la descomposición hasta completarse. Una corriente contaminada en un punto dado tenderá a volver a un estado similar al de antes de la contaminación, como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante. A esto se le designa comúnmente como proceso de autoourificación. Se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos. Las reacciones físicas son esencialmente de sedimentación de sólidos suspendidos, formándose depósitos que se conocen como bancos de lodo; la clarificación y otros efectos de la luz del sol y de la regeneración.

Las reacciones químicas y biológicas son más complejas. Los organismos vivos se alimentan de sólidos orgánicos, produciendo desechos que pueden destruirlos y que al mismo tiempo sirven como alimento para los tipos que los suceden, los cuales continúan el proceso de descomposición, hasta que los complejos sólidos orgánicos quedan finalmente reducidos a sales inorgánicas estables como son los nitratos, los sulfatos, los fosfatos, etc. Estos sirven a su vez de alimento a otras formas biológicas, como las algas, que durante su proceso de desarrollo y metabolismo producen oxígeno como producto de desecho. Entonces éste se disuelve en el agua, agregándose al que se obtiene por la reoxigenación. Estas reacciones hacen que el agua vuelva a una condición de relativa limpieza y puede considerarse que se ha completado la autopurificación. El progreso de la autopurificación depende del tiempo, de la temperatura, del abastecimiento de oxígeno y de otros factores ambientales que regulan los desarrollos biológicos.

Se admite que la autopurificación de una corriente tiene lugar en cuatro etapas, dividiéndose la corriente en cuatro zonas sin delimitación definida. Se conocen como zonas de degradación, de descomposición, de recuperación y de agua limpia. No siempre se puede distinguir la zona de descomposición, como se hará notar al describirla.

**Zona de degradación.** La primera de estas zonas queda inmediatamente abajo del punto de contaminación, y se conoce como zona de degradación. Esta zona se caracteriza por presentar signos visibles de contaminación, pues se presentan sólidos flotantes, como fragmentos de basuras, astillas, papel y a veces algunos sólidos fecales. La turbiedad de la corriente aumenta sensiblemente por la descarga del agua negra. El oxígeno disminuye pero no se agota inmediatamente. La fauna acuática disminuye y queda limitada a aquellas especies capaces de sobrevivir en el agua que contiene relativamente poco oxígeno disuelto.



Aunque no es visible, abunda la actividad biológica. Las bacterias se presentan en grandes cantidades, incluyéndose las patógenas que estaban en el agua negra. Los hongos también se presentan y con el tiempo se encontrarán grandes crecimientos filamentosos de éstos adheridos a las rocas y arbustos de las riberas. El activo desarrollo de vida microbiológica absorbe y agota gradualmente el oxígeno disuelto. Si en esta sección de la corriente es lento el flujo, tiene lugar la sedimentación de los sólidos suspendidos, creándose bancos de lodo. Esta acumulación de sólidos del agua negra se pudre y contribuye posteriormente a la degradación de la corriente.

**Zona de descomposición.** A medida que se va agotando la reserva de oxígeno disuelto, la zona de degradación se convierte en zona de descomposición, en donde se inicia la descomposición anaerobia o putrefacción.

Cuando la contaminación es intensa, esto ocurre rápidamente. Con una menor descarga del agua negra con respecto al volumen de la corriente, la aparición de la segunda zona es más lenta. Cuando el volumen del agua negra que se descarga es muy pequeño, en comparación con la corriente, de manera que haya siempre el suficiente oxígeno disuelto para mantener la vida aerobia, no aparece en la corriente la zona de descomposición, y entonces la zona de degradación se va transformando directamente en zona de recuperación.

La zona de descomposición se caracteriza por el desarrollo de la descomposición anaerobia. El oxígeno disuelto está casi o totalmente agotado y ha desaparecido toda fauna acuática. El agua se vuelve negra y se producen olores ofensivos como resultado de la descomposición de los sólidos orgánicos por los organismos anaerobios presentes en grandes cantidades. Continúa la sedimentación de los sólidos suspendidos apareciendo depósitos de lodo similares a los de la primera zona. Al ir progresando la descomposición de la materia orgánica, disminuye la cantidad de sólidos putrescibles y empiezan a disminuir de intensidad las reacciones de putrefacción. El oxígeno de re-aeración iguala primero y excede después al que se va necesitando para la descomposición bioquímica, de manera que al final de esta zona hay algo de oxígeno disuelto, presente, originándose así la tercera zona que es la zona de recuperación.

**Zona de recuperación.** En esta zona aparece el oxígeno disuelto en cantidades gradualmente mayores, los sólidos orgánicos disminuyen y presenta una apariencia favorable la corriente. Sigue habiendo microorganismos, pero en menor cantidad; se han extinguido las especies anaerobias, quedando solamente las aerobias. Los peces pueden sobrevivir nuevamente y aparecen otras formas superiores de organismos en grandes cantidades. Continúa la sedimentación de los sólidos orgánicos formando bancos de lodo y poblándose de gusanos y larvas que son perfectamente visibles en los depósitos del fondo, contribuyendo a la ulterior descomposición.

Como ya se ha hecho notar anteriormente, si en la corriente hay siempre condiciones aerobias, la zona de recuperación es la que inmediatamente sigue a la zona de degradación.

**Zona de agua limpia.** En la zona de recuperación se ha consumado casi completamente la descomposición de los sólidos orgánicos y se hallan en mayor concentración sólidos inorgánicos estables. Entonces entra la corriente a su cuarta zona o zona final, que es la Zona de Agua Limpia. En ésta, la apariencia del agua es similar a la que tenía antes de recibir el material contaminante. No hay sólidos flotantes visibles, el agua clara, libre de materia suspendida, y ha recuperado su transparencia original. La concentración de oxígeno es cercana o está en el punto de saturación. Hay organismos microscópicos vivos, incluyéndose las bacterias, pero en cantidades relativamente pequeñas. Abundan los organismos mayores, especialmente las algas y otras formas que encuentran en las aguas limpias su medio ambiente óptimo y que emplean como alimento los compuestos inorgánicos estables que resultaron de la descomposición de los complejos orgánicos característicos del agua negra que produjeron la contaminación. Los peces son generalmente más abundantes que antes de que ocurriese la contaminación, debido al aumento de población de los organismos macroscópicos que sirven para aumentar el suministro alimenticio de los peces.

El tiempo que se requiere para la autopurificación de una corriente, o la distancia que tiene que recorrer para atravesar por las cuatro zonas, depende de la fuerza y volumen relativos de la contaminación, del caudal de la corriente, de la turbulencia del flujo, de la temperatura del agua y, principalmente, de si se descarga o no una contaminación adicional durante el progreso de la autopurificación.

**Posibilidad de contaminación residual.** El proceso de autopurificación afecta principalmente a la materia putrescible del agua negra. Pueden sobrevivir algunos organismos patógenos y virus. Otras sustancias contaminantes, especialmente los compuestos metálicos, y otros de naturaleza no esteramente orgánica, provenientes de procesos industriales y de manufactura, no se alteran por los procesos bioquímicos. Si estas sustancias están presentes en concentración suficiente, interfieren e inhiben la descomposición biológica y pueden permanecer como contaminación residual que puede cambiar a tal grado la calidad del agua de la corriente receptora que la hagan impropia para ser usada como abastecimiento, o para propósitos recreativos o industriales.

## Necesidad de tratar el agua negra

El problema de disponer del agua negra fue imponiéndose debido al uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias (principalmente del tipo anaerobio). Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después, la experiencia demostró que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas enterrados, que es un método de eliminación de los desechos de excrementos que todavía se emplea profusamente.

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para arrastrar o transportar los desechos caseros, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos mismos, sino para el agua portadora. Se emplearon para ello los tres métodos posibles; la irrigación, la disposición subsuperficial y la dilución.

A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento de volumen del agua negra y desechos orgánicos, resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas esenciales para remediarlos y se inició el desarrollo de los métodos de tratamiento, antes de la disposición final del agua negra.

Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento del agua negra incluyen:

- 1) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- 2) La prevención de enfermedades.
- 3) La prevención de molestias.
- 4) El mantenimiento del agua limpia para el baño y otros propósitos recreativos.
- 5) Mantener limpia el agua que se usa para la propagación y supervivencia de los peces.
- 6) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- 7) La prevención del azolve de los canales navegables.

Una planta de tratamiento del agua negra se diseña para retirar del agua negra las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin infringir los objetivos propuestos.

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento del agua negra siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada. Los dispositivos para el tratamiento solamente localizan y limitan estos procesos a una área adecuada, restringida y controlada, y proporcionan las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas.

El grado hasta el cual sea necesario llevar un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro. Existen tres factores básicos determinantes:

- 1) Las características y la cantidad de sólidos acarreados el agua negra.
- 2) Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
- 3) La capacidad o aptitud que tenga el terreno (para la disposición subsuperficial o por irrigación), o el agua receptora (en la disposición por dilución), para verificar la autopurificación o dilución necesaria de los sólidos del agua negra, sin violar los objetivos propuestos.

La eliminación de los sólidos flotantes por medio de coladeras, es aconsejable en los casos en que el agua negra se descargue en el agua costera del mar. Sin embargo, puede ser necesario eliminar una alta proporción de sólidos suspendidos, llevar a cabo la descomposición de los sólidos orgánicos disueltos y destruir los organismos patógenos, antes de que se descargue a un río que ha de utilizarse agua abajo como fuente de abastecimiento público. Un tratamiento adecuado, previo a la disposición, para alcanzar ciertos objetivos, es imprescindible, pero un tratamiento exagerado es un extravagancia injustificable.

Después de evacuar el efluente de una planta de tratamiento del agua negra, quedan aún en ella los sólidos y el agua contenidos en los lodos, que han sido separados del agua negra, del cual tiene que disponer también en forma segura y sin producir molestias.

El avance de la autopurificación de una corriente puede medirse mediante pruebas adecuadas de laboratorio, las cuales incluyen pruebas, físicas, químicas y biológicas. Mediante pruebas similares se mide y se controla también el avance o desarrollo de los procesos en una planta de tratamiento del agua negra.

## CONTAMINACION DEL AIRE.

Existe una amplia bibliografía referente a los efectos que produce la contaminación del aire en la salud del hombre, animales y plantas, así como del deterioro que causa en edificios, obras de arte y otros bienes materiales; además, es un tema tan amplio e interesante, que es quizá el más conocido por el público en general.

Las fuentes emisoras de contaminantes se subdividen en naturales y artificiales. Las naturales incluyen las áreas polvosas de terrenos erosionados en donde la generación de polvo es imposible de controlar; en ese mismo caso se hallan los terrenos desecados. Quedan dentro de esta categoría las omisiones volcánicas y otras semejantes. Las artificiales se subdividen en fijas, móviles y diversas; todas ellas son producto de la actividad del hombre.

## Causas de la contaminación.

Para que una emisión se considere contaminante, debe sobrepasar una concentración y permanecer un cierto tiempo estimados como límites para que se presente un riesgo a la salud o a la economía.

Tal como sucede en el agua, la atmósfera posee un poder importante de autodepuración, pero tiene un límite que depende de factores meteorológicos y geográficos. Las características meteorológicas más importantes son el viento y la lluvia; en cuanto al viento, según su velocidad y dirección, arrastra los contaminantes fuera de las ciudades y los diluye; respecto a la lluvia, realiza un lavado y disuelve gases y vapores arrastrando las partículas sólidas que encuentra a su paso.

La topografía es decisiva para facilitar la acción de los fenómenos meteorológicos o limitarlos y aún provocar condiciones desfavorables permanentes o muy frecuentes.

La temperatura también interviene en estas acciones y son notables las diferencias entre el día y la noche para formar los techos en donde se estratifica el aire ascendente y que en ausencia de vientos importantes permanecen por largos periodos. En techos bajos como de 100 a 300 m. de altura, las condiciones que se llegan a establecer, puede ser altamente peligrosas, este fenómeno que casi rítmico día y noche y el día, se recrudece en el invierno causa de la menor energía solar disponible.

Tan diversos y numerosos factores que intervienen en el problema de contaminación atmosférica, hacen que cada sitio posea características espaciales y requiera de estudios locales para lograr su solución, sin admitir que se puedan aplicar las que se han experimentado en otros lugares.

## Principales contaminantes.

Estos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Los dos primeros deben ser de un tamaño lo suficientemente pequeño como para no sedimentarse, sino formar aerosoles, lo que se obtiene sólo cuando las partículas tiene diámetros del orden de 30 micras o menos. Entre los contaminantes sólidos más abundantes y habituales están el humo, hollín y cenizas, provenientes de las combustiones; y el polvo natural o producido por barrido, demoliciones o procesos industriales. Estos últimos envían al aire diversas sales principalmente inorgánicas entre las que se hallan fluoruros, óxidos de hierro y aluminio, cemento, sulfuros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y otros. Estos polvos constituyen a menudo daños y molestias localizados, pero las condiciones atmosféricas pueden dispersarlos sobre superficies bastante grandes o arrastrarlos hasta algunas decenas de kilómetros de su lugar de origen.

El contaminante más importante está constituido por las nieblas de ácido sulfúrico, formadas principalmente por oxidación del anhídrido sulfuroso. A estas nieblas se atribuyen por parte de algunos autores, una proporción considerable de los daños a la salud ocasionada por la contaminación del aire.

En cuanto a los gases, entre los más importantes está el anhídrido sulfuroso, producto de la oxidación del azufre que contiene los minerales sulfurados y los distintos tipos de combustible fósiles, principalmente el carbón de piedra y los aceites residuales de petróleo que llegan al aire como subproducto de las industrias que queman azufre; también se puede mencionar el monóxido de carbono, residuo de las combustiones incompletas y componente importante de los gases de los tubos de escape de los automóviles, otros gases son el bióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno que se forman cuando el aire se expone a altas temperaturas, como en los hogares de los generadores de vapor y en los distintos tipos de motores. A éstos se agregan los diversos subproductos de la industria química que aunque en menor volumen, pueden complicar seriamente los problemas por la interacción con los contaminantes más habituales.

Muchos de los gases enumerados pueden reaccionar entre sí, para formar nuevos productos, que a veces pueden ser más perjudiciales. Así, la interacción entre los óxidos de nitrógeno, el anhídrido sulfuroso, los hidrocarburos de petróleo, etc., catalizados por la energía solar, permiten la formación de cantidades apreciables de ozono, un oxidante muy activo, anhídrido sulfúrico, que por combinación con la humedad del aire forma las nieblas de ácido sulfúrico; y sustancias orgánicas oxidadas, como los peroxiacetilnitritos a los que se atribuyen muchas de las propiedades oxidantes y molestas como el ardor de los ojos y los daños a la vegetación.

#### Magnitud de la contaminación.

En varias regiones se han detectado trazas de metales potencialmente tóxicos en pequeñas cantidades al humano y algunos organismos; pero que se han incrementado como resultado de la actividad industrial. Entre éstos se hallan: plomo, zinc, manganeso, plata, arsénico, vanadio, antimonio, selenio, cromo y níquel; las concentraciones van de 10 a 200 veces más que en una atmósfera limpia como la del Polo Sur.

Los contaminantes que más afectan a la agricultura son los fotoquímicos; se forman por la interacción de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos que a su vez generan productos secundarios como ozono, ácido sulfúrico. Los ácidos formados son los causantes de las lluvias ácidas que se han presentado con mucha frecuencia y mayor intensidad a partir de 1950. Entre los muchos estragos que hace la lluvia ácida se cuenta la reducción de la actividad microbiológica del suelo, impidiendo por tanto el correcto desarrollo forestal.

## LA CONTAMINACION DEL AIRE.

### INTRODUCCION.

La contaminación del aire no es, en realidad, un fenómeno nuevo, ya que el humo liberado por el fuego de la cocina o del calentador, los olores que provienen de desechos domésticos-agua negra y basura han sido una característica de los lugares que el hombre ha habitado desde que se comenzó a agruparse en 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 reemplazados por un grupo nuevo de contaminantes del aire, los cuales son productos de la cambiante sociedad urbana industrial. En conjunto la mayor parte de los problemas de contaminación del aire son hoy día resultado de las actividades industriales y los medios de transporte, en otras palabras, consecuencia del uso de la energía.

### EL AIRE Y LA CONTAMINACION DEL AIRE.

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 del hombre 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.



Los componentes principales 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 nitroso tienen poca o ninguna interacción con otras moléculas. Algunos otros gases, también presentes en pequeñas cantidades, 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 (tabla 1.1.) Los gases reactivos de este grupo son los que se consideran contaminantes cuando los produce el hombre en cantidades suficientemente elevadas como para exceder en forma significativa a las concentraciones del ambiente señaladas en la tabla 1.1. Los gases más importantes dentro de este grupo son los que se encuentran presente de manera general en el aire de las ciudades del mundo, a saber, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos, excepto el metano. Otros gases reactivos también pueden causar problemas de contaminación en concentraciones elevadas, por ejemplo, los gases halógenos color y flúor, así como sus ácidos derivados: ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico; pero estos problemas tienden a ser regionales más o menos igual que la de los gases que se indican en la tabla 1.1.

Las concentraciones de los gases reactivos en el ambiente han permanecido, según nuestro conocimiento, constantes a través del tiempo. Esto significa que fuentes y vertederos (como, por lo general, se les llama a los procesos de formación y remoción) están balanceados, y también, en cuanto a los gases con elevada contribución contaminante, que los vertederos son capaces de darse abasto con la carga adicional a causa del hombre. Esto se explica, en parte, por la reactividad y, en parte, por el hecho de que la fuente natural de estos gases excede en mucho a la fuente contaminante en la mayoría de los casos (tabla 1.2). En la tabla 1.2 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) y más de cien veces amoníaco (NH<sub>3</sub>) en comparación con los que produce el hombre. Sin embargo, el dióxido de azufre 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>.

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la manera como se construyen nuestras ciudades, 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. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre y vapor de agua.

**Tabla 1.1.** La composición de aire seco en la parte más baja de la troposfera (libre de vapor de agua).

	Símbolo químico	Concentración <sup>a</sup> (porcentaje)	Tiempo de residencia calculado
<i>Gases principales</i>			
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	73.0	Continuo
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.9	Continuo
Argón	Ar	0.93	Continuo
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.032 <sup>b</sup>	20 años <sup>c</sup>
<i>Gases raros</i>			
<i>a) Gases permanentes (no reactivos)</i>		ppm	
Helio	He	5.2	Continuo
Neón	Ne	18.0	Continuo
Criptón	Kr	1.1	Continuo
Xenón	Xe	0.086	Continuo
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.5	?
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0.25	8-10 años
<i>b) Gases reactivos</i>			
Monóxido de carbono	CO	0.1	0.2-0.3 años
Metano	CH <sub>4</sub>	1.4	< 2 años
Hidrocarburos excepto el metano	'HC'	0.02	?
Óxido nítrico	NO	0.2 a 2.0 × 10 <sup>-3</sup>	2-8 días
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	0.5 a 4.0 × 10 <sup>-3</sup>	
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	6 a 20 × 10 <sup>-3</sup>	1-4 días
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	0.03 a 1.2 × 10 <sup>-3</sup>	1-6 días
Ozono	O <sub>3</sub>	0 a 0.05	?

<sup>a</sup> Ésta 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>b</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>c</sup> Para fotosíntesis. El tiempo de intercambio con el océano profundo es del orden de siglos.

? Indica que se conoce poco acerca del tiempo de residencia del gas.

**Tabla 1.2. Fuentes de contaminantes del aire.**

GAS	FUENTE		CANTIDAD ( $\times 10^6$ toneladas por año)	
	Principales fuentes contaminantes (fuentes antropogénicas)	Fuentes naturales	Contaminación	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, tratamiento de aguas negras	Volcanes, acción biológica en pantanos	3	30-100
Monóxido de carbono (CO)	Combustión, principalmente escapes de automóviles	Reacciones de terpenos en incendios forestales	300	> 3000
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Combustión	Acción bacteriana en suelos	50*	60-270*

Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados todos ellos son contaminantes del aire.

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, según 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. Por tanto, se considera a la contaminación del aire como un problema público, que no solamente concierne a los responsables de la contaminación sino también a quienes podrían sufrir las consecuencias. Por tanto, las leyes de algunos países permiten a un individuo o grupo de individuos demandar directamente a una organización o compañía que contamine esa parte propiedad del dominio público.

El control racional de la contaminación del aire, se apoya cuatro suposiciones básicas.

1.- El aire es del dominio público. Tal suposición es necesaria si se ha de tratar la contaminación del aire como un problema público, concerniente no sólo a quienes causan la contaminación, sino también a quienes pudieran sufrir las consecuencias.

2.- La contaminación del aire constituye un concomitante inevitable de la vida moderna. Existe un conflicto entre las preocupaciones económicas y biológicas del hombre; en otro tiempo, no se reconoció este conflicto como tal, sólo después de que ocurrieron desastres debidos a contaminación del aire. Se necesita establecer sistemáticamente normas y programas a fin de conservar la atmósfera para que cumpla su función biológica más esencial.

3.- Se pueden aplicar los conocimientos científicos para delinear las normas públicas. La información acerca de las fuentes y efectos de la contaminación del aire dista mucho de ser completa, y se debe trabajar mucho a fin de crear dispositivos y métodos de control. No obstante, se dispone de suficiente información para lograr reducciones considerables en los niveles de la contaminación del aire. El hombre no tiene que abandonar ni su tecnología ni su forma de vida, pero sí debe usar sus conocimientos.

4.- Los métodos para reducir la contaminación del aire no deben aumentar dicha contaminación en otros sectores del ambiente. Ciertas industrias reducen los desechos en el aire disolviéndolos en agua y vertiendo esta agua contaminada en los ríos. Por ejemplo, una proposición para reducir el dióxido de azufre emitido por plantas de energía eléctrica que consumen carbón, resulta en la formación de grandes cantidades de desechos sólidos o líquidos. Estos métodos no solucionan los problemas de contaminación de aire.

#### DEFINICION Y LISTA GENERAL DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Antes de poder formular leyes y reglamentos que se puedan poner en vigor a fin de controlar la contaminación del aire, es necesario definir el término contaminación del aire. Se han propuesto muchas definiciones. Una de ellas es la siguiente: "Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades." De un modo similar, las leyes definen la contaminación del aire como "... la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidades de duración tales que sean o tiendan a ser perjudiciales a la salud o el bienestar humano, la vida de los animales o de las plantas, o que interfiera el goce de la vida o la propiedad." La ley define

líquidos, humo, otras materias particuladas, vapor, gases, sustancias olorosas, o cualquier combinación de las mismas, pero que no incluirá el vapor de agua no combinado".

Un método para definir un contaminante del aire consiste, primero en especificar la composición del aire atmosférico seco, "limpio" o "normal", y luego clasificar todos los otros materiales o las cantidades aumentadas de dichos materiales presentes en la composición del aire atmosférico, como contaminantes, si su presencia daña a personas, plantas, animales o materiales. En la tabla 1.1 se muestra la composición química del aire atmosférico seco, que se encuentran usualmente en las áreas rurales y sobre el océano, lejos de las masas de terreno. El aire atmosférico contiene también de 1 a 3 por ciento en volumen de vapor de agua, y trazas de dióxido de azufre, formaldehído, yodo, cloruro de sodio, amoníaco, monóxido de carbono, los vapores de los hidrocarburos, o el ozono en concentración mayor de 0.04 ppm, se considerarían como contaminantes del aire.

## DEFINICION Y LISTA GENERAL DE LOS CONTAMINANTES

Tabla 1.1 Composición química del aire atmosférico seco.

<i>Sustancia</i>	<i>Volumen (por ciento)</i>	<i>Concentración (ppm)<sup>a</sup></i>
Nitrógeno	78.084 ± 0.004	780,900
Oxígeno	20.946 ± 0.002	209,400
Argón	0.934 ± 0.001	9,300
Dióxido de carbono	0.033 ± 0.001	315
Neon		18
Helio		5.2
Metano		1.2
Criptón		0.5
Hidrógeno		0.5
Xenón		0.08
Dióxido de nitrógeno		0.02
Ozono		0.01–0.04

FUENTE: *Handbook of Air Pollution*, Publicaciones PIIS AP-44 (PB 190-247), 1968 (40).

<sup>a</sup> ppm es una abreviatura de partes por millón.

En la actualidad, ni el dióxido de carbono ni el vapor de agua no combinado se considera como contaminante. Esta situación podría cambiar, puesto que la descarga a la atmósfera de cualesquiera de estas sustancias en cantidades cada vez mayores, podría resultar en un cambio significativo de la temperatura atmosférica global. De igual manera, ciertos olores que ahora se consideran molestias más bien que contaminantes pueden considerarse como contaminantes.

Es común expresar la cantidad de un contaminante gaseoso presente en el aire como partes por millón (ppm). Así

$$\frac{1 \text{ volumen de contaminante gaseoso}}{10^6 \text{ volúmenes de (contaminante + aire)}} = 1 \text{ ppm}$$

$$0.0001 \text{ por ciento en volumen} = 1 \text{ ppm}$$

La clasificación general de los contaminantes del aire es la siguiente:

1. Materia particulada o partículas
2. Compuestos que contienen azufre
3. Compuestos orgánicos
4. Compuestos que contienen nitrógeno
5. Monóxido de carbono
6. Compuestos de halogenados
7. Compuestos radiactivos

La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen polvo fino (menor de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro), polvo grueso (más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro), vapores (0.001 - 1  $\mu\text{m}$  de diámetro) y neblinas (0.1 - 10  $\mu\text{m}$  de diámetro). Los vapores son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, y a veces se las designa como humo. Los vapores, humo, neblina y niebla forman una clase más amplia llamada aerosoles.

Las materias 2 hasta 6 inclusive de la lista general anterior se pueden agrupar en dos amplias clasificaciones: contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son los emitidos directamente por las fuentes, mientras que los secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y las especies químicas que se encuentran usualmente en la atmósfera.

La tabla 1.2 presenta una lista de los contaminantes primarios secundarios para las clases de sustancias. Nótese que el dióxido de carbono ha sido colocado entre paréntesis en la tabla, ya que el CO<sub>2</sub> no se considera un contaminante. No obstante, el aumento en la concentración mundial de CO<sub>2</sub> es la principal preocupación en lo que respecta a su efecto eventual. Las partículas, el monóxido de carbono, los óxidos de azufre, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, oxidantes fotoquímicos, asbestos, berilio y mercurio se tratan con algún detalle en las siguientes secciones.

### LA MATERIA PARTICULADA O PARTICULAS.

Partícula es un término que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente 0.0002  $\mu\text{m}$  de diámetro) pero menores de 500  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 1 micrón =  $10^{-4}$  cm). Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses. Las partículas entre 0.1 y 1  $\mu\text{m}$  experimentan movimientos brownianos aleatorios resultantes de la colisión con 1 moléculas individuales. Las partículas entre 0.1 y 1  $\mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento en el aire estático que, aunque finitas, son pequeñas comparadas con las velocidades del viento. Las partículas mayores de 1  $\mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento significativas, pero pequeñas. Las partículas por encima de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , tienen grandes velocidades de asentamiento y se eliminan del aire por gravedad y otros procesos de inercia. Las ecuaciones para las velocidades de asentamiento se discuten con mayor detalle en la sección 5.5.

Una porción de las partículas introducidas en la atmósfera por las actividades del hombre sirven como núcleos de condensación que influyen en la formación de nubes, lluvia y nieve.



Tabla 1.2 Clasificación general de los contaminantes gaseosos del aire.

<i>Clase</i>	<i>Contaminantes primarios</i>	<i>Contaminantes secundarios</i>
Compuestos que contienen azufre	$\text{SO}_2, \text{H}_2\text{S}$	$\text{SO}_3, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{MSO}_4^a$
Compuestos orgánicos	Compuestos de $\text{C}_1 - \text{C}_5$	Cetonas, aldehidos, ácidos
Compuestos que contienen nitrógeno	$\text{NO}, \text{NH}_3$	$\text{NO}_2, \text{MNO}_3^a$
Oxidos de carbono	$\text{CO}, (\text{CO}_2)$	(Ninguno)
Halógeno	$\text{HCl}, \text{HF}$	(Ninguno)

<sup>a</sup>  $\text{MSO}_4$  y  $\text{MNO}_3$  denotan compuestos de sulfatos y nitratos, respectivamente.

**Tabla 1.3** Efectos observados de las partículas.

<i>Concentración</i>	<i>Tiempo de medición</i>	<i>Efectos</i>
60-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media geométrica anual, con $\text{SO}_2$ y humedad	Aceleración en la corrosión de las láminas de acero y zinc
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Humedad relativa menor del 70 por ciento	Visibilidad reducida a 5 millas
100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Luz solar directa reducida en un tercio
80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con niveles de sulfatación de 30 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años
100-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con $\text{SO}_2 > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Es posible que los niños experimenten un aumento en la incidencia de las enfermedades respiratorias
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo
260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo una vez en cada 24 h	Norma de la calidad del aire ambiente
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo de 24 h y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas
750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades

FUENTE: Compendio de datos presentados en *Air Quality for Particulate Matter* de la National Air Pollution Control Administration, AP-49, Washington, DC.: HEW, 1969.

## Visibilidad y características atmosféricas afines.

Uno de los efectos más comunes de la contaminación del aire es la reducción de la visibilidad resultante de la absorción y dispersión la luz por los materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. La visibilidad se altera por las partículas que se forman en la atmósfera por las reacciones en la fase gaseosa. Aunque no son visibles, el dióxido de azufre, el vapor de agua y el ozono en grandes cantidades cambian las características de absorción y transmisión de la atmósfera. Se han realizado muchos esfuerzos en años recientes a fin de relacionar la concentración de los contaminantes llevados por el aire, y que han tomado la forma de plumas en la atmósfera. La reducción de la visibilidad no sólo resulta desagradable para el individuo, sino que puede sufrir fuertes efectos psicológicos. Además, se presentan algunos peligros que afectan a la seguridad.

## MONOXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Las emisiones globales del monóxido de carbono son grandes (350 millones de toneladas/año en 1986) de las que aproximadamente 20 por ciento es obra del hombre. Una tal concentración resultaría en un aumento de cerca de 0.03 ppm/año en la concentración ambiental. Este aumento no se ha observado. Los hongos en el suelo pueden eliminar una porción significativa de la cantidad liberada, y se supone, por lo general, que el CO se oxida a CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a pesar de que la tasa de conversión es muy lenta. Se tiene alguna evidencia de que el CO puede ser químicamente activo durante la formación del neblumo, (smog).

### Efectos del monóxido de carbono en los materiales y las plantas.

El monóxido de carbono no parece tener efectos perjudiciales sobre la superficie de los materiales. Los resultados de numerosos experimentos han mostrado que el CO no produce efectos dañinos de ninguna clase en las formas superiores de vida de las plantas a concentraciones por debajo de 100 ppm, durante exposiciones de 1 a 3 semanas. Las concentraciones ambientales del CO rara vez alcanzan este nivel, ni siquiera en cortos periodos.

### Efectos del monóxido de carbono en la salud.

Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (>750 mmp). La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de la carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O<sub>2</sub> Hb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno. Es decir, la presión parcial del CO requerido para saturar totalmente la hemoglobina es sólo de 1/200 a 1/250 de la presión parcial del oxígeno requerido para la completa saturación con el oxígeno. La exposición a una mezcla de ambos gases lleva concentraciones de equilibrio de COHb y O<sub>2</sub>Hb dadas por

$$\frac{\text{COHb}}{\text{O}_2\text{Hb}} = M \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{O}_2}} \quad (1.13)$$

donde P<sub>CO</sub> y P<sub>O<sub>2</sub></sub> representan las presiones parciales del CO y el O<sub>2</sub> en los gases inhalados, y M es una constante que varía de 200 a 250 en la sangre del hombre. Por tanto, la cantidad de COHb es una función de la concentración de CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad de su monóxido de carbono, en pacientes saludables y en un período de 3 horas. Se mantiene en la sangre un nivel normal de COHb de 0.4 por ciento, por el CO producido dentro del cuerpo, independientemente de las fuentes externas.

Hay desacuerdo sobre si el CO es un contaminante de umbral. Muchos expertos opinan que aun pequeñas concentraciones de CO producen efectos indeseables. La mayoría de los hombres de ciencia opinan que el monóxido de carbono no es un veneno acumulativo. No ocurre envenenamiento crónico como resultado de la exposición a largo plazo a concentraciones relativamente bajas. Los individuos especialmente susceptibles (los que ya padecen una enfermedad que altera la capacidad de oxígeno de la sangre, como la anemia, o las afecciones cardiorrespiratorias) pueden verse afectados por los niveles de CO que se encuentran en la calle. La exposición a bajas concentraciones de CO (10 a 15 ppm) puede perjudicar la capacidad de la persona para estimar los intervalos y afectar su agudeza visual con respecto al umbral de luminosidad. Se posee alguna evidencia de que tales efectos sobre una persona que conduce una automóvil, aumentan las posibilidades de que tenga un accidente al alterarse sus capacidades.

En la tabla 1.4 se presenta una lista de los efectos sobre la salud atribuidos a ciertos niveles de CO en el ambiente y a niveles de COHb en la sangre. En términos generales, el nivel de COHb debe ser menor del 2 por ciento excepto en circunstancias atenuantes, y durante cortos períodos.

## OXIDOS DE AZUFRE

Tabla 1.4 Efectos sobre la salud del monóxido de carbono y el COHb.

<i>Monóxido de carbono</i>	
<i>Condiciones ambientales</i>	<i>Efectos</i>
9 ppm con 8 h de exposición	Norma sobre la calidad del aire ambiente
50 ppm con 6 semanas de exposición	Cambios estructurales en el corazón y cerebro de los animales
50 ppm con 50 min de exposición	Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual
50 ppm con exposición de 8 a 12 h para los no fumadores	Impedimentos en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras
<i>Carboxihemoglobina</i>	
<i>Nivel de COHb (por ciento)</i>	<i>Efectos</i>
< 1.0	No hay efectos aparentes
1.0-2.0	Hay alguna evidencia de efectos sobre la conducta
2.0-5.0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y algunas otras funciones psicomotoras.
> 5.0	Cambios funcionales cardíacos y pulmonares
10.0-80.0	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte

xihemoglobina. La norma de calidad del aire de 9 ppm parece ser mucho más baja que el nivel correspondiente a cualquier efecto perjudicial medido.

Ante la evidencia de esos efectos sobre la salud, las normas de calidad del aire para CO de la Environmental Protection Agency son: 10 mg/m<sup>3</sup> (9 ppm) para un período promedio de 8 h; 40 mg/m<sup>3</sup> (35 ppm) para un período promedio de 1 h. En el estado de California, la norma se fijó en 1969 como 20 ppm para un período de 8 h. Esta selección se basó en el hecho de que la contaminación del aire de la comunidad no deba contribuir más del 2 por ciento de COHb. En comparación con las normas federales primarias sobre la calidad del aire ambiente ya citadas, el nivel de "daño significativo", definido por la EPA para un promedio de 8 h es de 57.5 mg/m<sup>3</sup> (50 ppm). Esto es aproximadamente igual a un nivel de 10 por ciento de carboxihemoglobina. La norma de calidad del aire de 9 ppm parece ser mucho más baja que el nivel correspondiente a cualquier efecto perjudicial medido.

### OXIDOS DE AZUFRE

El dióxido de azufre y trióxido de azufre son los óxidos dominantes del azufre presentes en la atmósfera. El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, no flamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritable. El dióxido de azufre se convierte parcialmente trióxido de azufre o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido sulfúrico con la humedad del aire. Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire. Por desgracia, ha resultado difícil aislar los efectos de sólo el dióxido de azufre. Se presentarán en las secciones siguientes breves comentarios de los efectos de los compuestos azufrados.

Efectos de los compuestos de azufre sobre la visibilidad y los materiales.

Como se indicó, las partículas en suspensión en la atmósfera reducen el rango visual al dispersar y absorber la luz. Como los aerosoles del ácido sulfúrico y otros sulfatos constituyen del 5 al 20 por ciento de las partículas en suspensión en el aire urbano, contribuyen significativamente a la reducción de la visibilidad. Las investigaciones indican que mucha de la neblina atmosférica se debe a la formación de varios aerosoles resultantes de las reacciones fotoquímicas entre el SO<sub>2</sub>, las partículas los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en la atmósfera.

En las mediciones de laboratorio, las mezclas de NO<sub>2</sub> y los hidrocarburos más comunes forman pocos o ningunos aerosoles cuando se les irradia. Sin embargo, tiene lugar una considerable formación de aerosoles cuando las mezclas de olefinas, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son irradiadas por la luz solar. Uno de los principales productos de estas complejas reacciones fotoquímicas son las gotitas de niebla de ácido sulfúrico, que dispersan la luz.

Las mediciones indican que una importante fracción del sulfato presente en el aire urbano tiene un tamaño efectivo de menos de 2  $\mu\text{m}$ , con el pico de distribución del tamaño alrededor de 0.2 a 0.9  $\mu\text{m}$ . Como la longitud de onda del rango visible del espectro electromagnético varía aproximadamente de 0.4 a 0.8  $\mu\text{m}$ , la presencia de aerosoles de este tipo puede causar una pronunciada reducción de la visibilidad.

Los compuestos de azufre son responsables de los daños más importantes ocasionados a los materiales. Lamentablemente, es difícil evaluar con precisión la contribución relativa de cada uno de los contaminantes individuales. Las observaciones indican que concentraciones de 1 a 2 ppm, de SO<sub>2</sub> en la atmósfera son causa de un aumento de 50 a 100 por ciento en el tiempo de secado de una película de pintura, y concentraciones más altas -de 7 a 10 ppm- aumentan el tiempo de secado a 2 ó 3 días. También, la superficie final dura menos cuando la pintura se seca en presencia del SO<sub>2</sub>. Los óxidos de azufre parecen poco o ningún efecto sobre las pinturas secas y endurecidas. Las pinturas que contienen sales metálicas reaccionan con el H<sub>2</sub>S. Las pinturas de nuevo tipo son mucho más resistentes al H<sub>2</sub>S.

Por lo general, los óxidos de azufre aceleran la corrosión del metal al formar primero ácido sulfúrico ya sea en la atmósfera o sobre la superficie del metal. Dependiendo de la clase de metal expuesto así como de la duración de la exposición, en atmósferas urbanas se han observado tasas de corrosión de 1 y media a 5 veces la tasa obtenida en ambientes rurales.

Hay varios efectos de la lluvia ácida que son inquietantes. Primero, existe una acidificación de las fuentes naturales de agua. Esto puede tener un efecto devastador sobre la vida de los peces. La trucha y el salmón son especialmente sensibles a un pH bajo. La reproducción de muchos peces se detiene ante un pH con un valor menor de 5.5. También se observa una disminución en el plancton y la fauna del fondo, lo que reduce el suministro de alimento de los peces. En segundo lugar, tiene lugar una lixiviación de los nutrientes del suelo. Esta desmineralización puede llegar a una pérdida de productividad de las cosechas y los bosques, o un cambio de la vegetación natural. La vegetación misma puede verse directamente dañada, y se observa un aumento en la corrosión de los materiales.

## Oxidos de nitrógeno.

De los seis óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes del aire. A pesar de que el NO<sub>2</sub> está por lo general presente en la baja atmósfera (formado por acción biológica en la superficie del terreno) no se considera como contaminante del aire. Ni el NO ni el NO<sub>2</sub> causan daños directos a los materiales; sin embargo, el NO<sub>2</sub> puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico que puede ser causa de considerable corrosión de las superficies metálicas. El dióxido de nitrógeno absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad. El dióxido de nitrógeno absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad. El dióxido de nitrógeno a una concentración de 0.5 ppm en un período de 10 a 12 días ha detenido el crecimiento de plantas tales como el frijol pinto y el tomate. Experimentos con naranjas sin semilla muestran que se reduce el rendimiento ante una prolongada exposición del NO<sub>2</sub> a concentraciones de 0.25 a 1 ppm.

El dióxido de nitrógeno actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera, el NO<sub>2</sub> es sólo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica. Se ha observado algún aumento en la bronquitis de los niños (de 2 a 3 años de edad) a concentraciones por debajo 0.01 ppm. En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico. Las reacciones químicas que intervienen se tratan en otra sección. Debido a esta actividad química se ha establecido la norma primaria de calidad del aire para los óxidos de nitrógeno y que se ha fijado en 100 ug/m<sup>3</sup> de promedio anual. Los componentes del neblumo, más dañinos para las plantas y perjudiciales para la salud del hombre, son los oxidantes fotoquímicos que se estudian en la sección siguiente.

## Oxidantes fotoquímicos.

Los agentes fotoquímicos, ozono (O<sub>3</sub>), nitrato de peroxiacetilo (NPA), nitrato de peroxibencilo (NPB), y otras trazas de sustancias que pueden oxidar el ion yoduro de potasio, se conocen como oxidantes fotoquímicos. El ozono y el NPA están presentes en las más altas concentraciones, y los efectos perjudiciales del neblumo fotoquímico se relacionan por lo general con la concentración de dichas especies. Los aerosoles formados durante las reacciones químicas que crean el neblumo causan una notable reducción de la visibilidad, y dan a la atmósfera un matiz parduzco. El ozono ataca al hule sintético, con lo que reduce la vida de las llantas, el aislamiento de hule, etc.



Tabla 1.6 Efectos sobre la salud debido al ozono y los oxidantes fotoquímicos.

<i>Concentración</i>		<i>Ozono</i>	
<i>(ppm)</i>	<i>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</i>	<i>Exposición</i>	<i>Efectos</i>
0.02	40	1 hora	Grietas en el hule estirado
0.03	60	8 horas	Daños en la vegetación
0.10	200	1 hora	Aumento en la resistencia a la respiración
0.30	590	Horas continuas de trabajo	Irritación en la nariz y la garganta, constricción al pecho
2.00	3,900	2 horas	Tos violenta

<i>Concentración</i>		<i>Oxidantes fotoquímicos</i>	
<i>(ppm)</i>	<i>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</i>	<i>Exposición</i>	<i>Efectos</i>
0.05	100	4 horas	Daños a la vegetación
0.10	200		Irritación a los ojos
0.13	250	Máximo de 1 h diaria	Agravación de las enfermedades respiratorias
0.03		1 hora	Impedimentos en el rendimiento de los atletas
0.08	160	máximo de 1 h	Normas para la calidad del aire

FUENTE: National Air Pollution Control, *Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants*, AP-63, Washington, D.C.: HEW, 1970.

Se pueden colocar inhibidores del ozono dentro de los productos de hule. También ataca la celulosa de los textiles, reduciendo la resistencia de dichos artículos. Todos los oxidantes decoloran las telas. Los oxidantes, principalmente el NPA y el NPB, causan severa irritación en los ojos, y en combinación con el ozono irritan la nariz y la garganta, producen constricción del pecho, y a concentraciones altas (3,900 ug/m<sup>3</sup>) producen fuerte tos e incapacidad de respiración. La tabla 1.6 presenta un resumen de los efectos del ozono y los oxidantes fotoquímicos.

#### Asbestos y metales.

Muchos estudios han mostrado una incidencia mayor de la esperada del cáncer bronquial entre individuos cuyas ocupaciones los exponen al asbesto. Además, el asbesto ha sido identificado como un factor causal en el desarrollo del cáncer en las membranas que revisten el pecho y el abdomen. El berilio ha demostrado también ser peligroso para la salud, al producir efectos letales de inhalación tanto agudos como crónicos, así como ser causa de daños a piel y ojos. La mayoría de los casos conciernen a una exposición ocupacional. La exposición a los vapores metálicos del mercurio causa daños al sistema nervioso central y a los riñones. Además, el mercurio se puede acumular en el sistema corporal y dañar el cerebro.

Debido a estos riesgos probados, se establecieron normas de emisión, en 1973, para asbestos, berilio y mercurio. La norma del asbestos estipula cómo se debe aplicar el material de asbestos, así como las precauciones que se han de tomar en su manufactura y en la demolición de los edificios. La norma para el berilio se aplica a procesos industriales que implican el uso del berilio, el mineral de berilio y las aleaciones que contienen más del 25 por ciento de berilio por peso, y estipula las tasas de emisión para dichos procesos. La norma del mercurio se aplica a fuentes estacionarias que procesan mineral de mercurio, recuperan el mercurio, y usan celdas cloroalcalinas para producir gas cloro e hidróxidos metálicos alcalinos.

## LA CONTAMINACION DEL AIRE

Se puede definir a la contaminación del aire como la adición a la atmosfera de cualquier material que tenga efectos perjudiciales sobre la vida; los contaminantes típicos del aire incluyen cosas como:

CO - monóxido de carbono

NOx - óxidos de nitrógeno

SOx - óxidos de azufre

varios hidrocarburos

partículas (pequeñas partículas, por lo general sólidas)

Estos contaminantes pueden ser de alguno de los dos tipos:

. contaminante primario, o letal como se origina en la fuente

. contaminante secundario, formado a través de la reacción con contaminantes primarios (ésta reacción puede ocurrir en el punto de emisión o en localidades remotas).

El smog se considera como contaminante secundario.

La contaminación del aire se genera por seis tipos mayores de fuentes:

. transportes;

. calentamiento doméstico;

. generación de potencia eléctrica;

. quemado de desechos o basura;

. fuegos agrícolas y forestales,

. quemado industrial de combustibles y emisiones de procesos.

En estas notas el enfoque se hará sobre el último tipo (las fuentes industriales), que contribuyen con cerca del 20% de la contaminación total del aire, también algo referente a la contaminación formada durante la generación de electricidad. Muchas industrias consumen grandes cantidades de electricidad, que puede ser comprada de una Cía. Eléctrica o generada en el sitio; en cualquier caso, la industria es responsable de los problemas ambientales debidos a su uso.

En la Fig. se muestran los % relativos de cada tipo de contaminante considerando solo la fuente industrial; consideraciones adicionales sobre los varios tipos de industrias permite clasificarlas de acuerdo al mayor potencial de emisiones (Tabla ).

Cuando se analizan los efectos de estos contaminantes, es necesario examinar los efectos sobre:

- . el hombre (incluidos los animales),
- . las plantas;
- . materiales;
- . meteorología.

Estos efectos pueden ir desde molestias y daños estéticos como olor y baja visibilidad, a daños a la propiedad y/o la salud, y disrupción local o global de ecosistemas, como alteración del clima; los efectos precisos dependen de muchos factores, incluyendo:

- . clima;
- . densidad de población;
- . otras condiciones locales.

A pesar de esta variabilidad, hay algunos efectos generales que han sido documentados. Aunque muchas sustancias pueden ser contaminantes del aire, estas notas se concentrarán en algunos de los mas comunes:

- CO - monóxido de carbono
- SOx - óxidos de azufre
- NOx - óxidos de nitrógeno y compuestos relacionados
- hidrocarburos
- O3 - ozono
- partículas

## EFFECTOS SOBRE EL HOMBRE

### Efectos sobre la salud.

Muchos de los contaminantes comunes del aire tienen muy serios efectos sobre la salud humana, por ejemplo, se conoce que el CO contribuye a enfermedades del corazón. Considerando todas las fuentes de contaminación, especialmente el transporte, es uno de los mayores (sino el mayor) de los contaminantes y es uno de los mas difíciles de eliminar.

El CO se forma durante la combustión de compuestos conteniendo carbono y en donde hay falta de oxígeno (O<sub>2</sub>):

$2C + O_2 \rightarrow 2CO$  en donde está limitado el O<sub>2</sub>

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ , en exceso de CO<sub>2</sub>

A pesar de que la industria no es en general productora de CO, ésta puede en ciertos casos contribuir al problema del CO.

El CO afecta al sistema nervioso central aún en muy bajas concentraciones, por la formación de carboxihemoglobina en el torrente sanguíneo que interfiere con el transporte normal de O<sub>2</sub> al cuerpo de las células, 2% de carboxihemoglobina es suficiente para generar efectos observables, y puede ser formado por una exposición de 8 horas a solo 10 ppm de CO, que es solamente un poco mayor al estandard de calidad del aire de 9 ppm a una exposición de 8 horas.

El transporte de O<sub>2</sub> se afecta claramente a 75% de carboxihemoglobina, generado a niveles de 30 ppm de CO ó mayores, ésto es sumamente serio si se considera que el tráfico pesado de automóviles puede generar de 50 a 140 ppm de CO, y el humo de cigarros puede crear hasta 15% de carboxihemoglobina. En adición a los efectos inmediatos del deficiente transporte de O<sub>2</sub>, los niveles altos de carboxihemoglobina tienden a hacer que una persona retenga el colesterol en la aorta.

Los óxidos de azufre SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> se generan primariamente en la combustión de combustibles con altos contenidos de azufre; algunos procesos industriales, como la fundición de cobre y el pulpeado de papel, también generan grandes cantidades de óxidos de azufre. El umbral normal de exposición es de 5 ppm por un periodo de 8 horas; la mayoría de las industrias no exceden estos límites, al menos a nivel del suelo, si tienen chimeneas altas.

Las fundiciones son una excepción a lo anterior ya que pueden tener de 30 a 40 veces el nivel del umbral por períodos cortos de tiempo, especialmente si hay inversión térmica.

Una inversión térmica ocurre cuando una capa mas fría baja de aire es atrapada por una capa de aire mas caliente superior; los contaminantes se forman en esta capa mas baja mas fría debido a que el aire frío no puede elevarse para llevarse fuera los contaminantes.

Los óxidos de azufre son tóxicos al cuerpo humano, especialmente si la persona tiene males respiratorios previos como efisemas y/o es anciano; también pueden acentuar la neumonía viral. Por lo general los óxidos de azufre pueden ser detectados por su olor, aunque la exposición prolongada puede desensibilizar a una persona de éstos componentes.

Los óxidos de nitrógeno NO y NO<sub>2</sub> por lo general se encuentran en concentraciones mas bajas, y se generan solo en situaciones de combustión de alta temperatura, por lo que se refieren como un contaminante elitista, solo presente en sociedades avanzadas tecnológicamente.

El último efecto de los óxidos de nitrógeno sobre los humanos, no está claramente comprendido, pero actúan como irritantes de la respiración y crean molestias en los ojos; el NO<sub>2</sub> puede también destruir la actividad celiaca en el sistema respiratorio y suprimir la actividad alveolar, la defensa final de los pulmones contra la materia extraña, habiendo evidencia de que los óxidos de nitrógeno pueden tener varias consecuencias serias.

Altas concentraciones de NO<sub>2</sub> se forman en silos agrícolas, creando el "gas de silos" durante el decaimiento aeróbico del ensilado y hay muchos ejemplos documentados de agricultores que han muerto fatalmente por éstas emanaciones; afortunadamente éstas concentraciones importantes no se forman debido a las operaciones industriales normales.

Estudios recientes de varios contaminantes del aire nitrogenados han indicado que los daños a la salud son mas serios de lo que se había pensado, en particular los peroxinitratos son bastante estables a bajas temperaturas del aire, y pueden ser contaminantes mas importantes que el O<sub>3</sub> (ozono) en ciudades del norte muy frías.

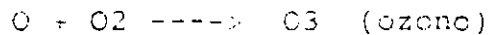
El peroxiacetilnitrato (PAN) es creado por reacciones fotoquímicas involucrando hidrocarburos, tiene una estructura general de un radical con cadenas de hidrocarburos de longitud variable. Algunos PAN's que se generan naturalmente por vegetación de coníferas es una fuente mayor de hidrocarburos y el NO<sub>2</sub> es predominante. El NO puede también reaccionar con algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos en pruebas de laboratorio para producir compuestos mutagénicos.

Hay cientos de tipos de hidrocarburos que forman contaminantes del aire; muchos de ellos son posiblemente cancerígenos y pueden ser, al menos parcialmente responsables del aumento en el cáncer de pulmón.

El ozono (O<sub>3</sub>) por lo general es generado por reacción fotoquímica entre los varios óxidos de nitrógeno y el O<sub>2</sub> en la atmósfera, por ejemplo:



El O es un radical libre, un átomo de oxígeno con siete electrones; entonces:



El ozono:

- . agrava el asma, efisema y la bronquitis crónica;
- . baja la resistencia a la infección;
- . reduce la habilidad a concentrarse;
- . induce la tos, la incomodidad del pecho y la irritación del sistema respiratorio;
- . causa daños en cromosomas en los animales de laboratorio y ha sido ligado a un tipo de anemia en humanos.

LAS PARTICULAS tienen varios efectos adversos, dependiendo de su tamaño:

- . abajo de 0.1  $\mu\text{m}$  (micras), el mayor efecto se relaciona con la modificación del tiempo; este es el tamaño mas parecido para inducir la nucleación de gotitas de agua;
- . entre 0.4 y 0.8  $\mu\text{m}$ , los diámetros son aproximadamente iguales a la longitud de onda de la luz, lo cual lleva a la restricción mas grande a la visibilidad;

. entre 1 y 5  $\mu\text{m}$ , hay una deposición máxima en los pulmones durante la inhalación;

. entre 3 y 15  $\mu\text{m}$ , las partículas se depositan en el sistema respiratorio superior;

. entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ , las partículas crean caída de polvo y suciedad.

Aunque las categorías se traslapan, las partículas de cualquier tamaño pueden mostrar cualquiera de estos efectos en alguna extensión, esta es una división útil cuando se consideran sus principales efectos.

Las partículas inhaladas son dañinas al sistema respiratorio, y además pueden ser tóxicas, por ejemplo, el mercurio y otros metales pesados pueden conducir directamente a reacciones bioquímicas, sin embargo, la mayoría son sustancias inorgánicas y no-tóxicas.

Cuando se inhalan partículas a través de la nariz y boca junto con los aproximadamente 7600 litros de aire que inhalamos diariamente, las partículas pueden depositarse finalmente en los pulmones causando un depósito sobre la cubierta de los mismos; esto puede resultar en una enfermedad llamada silicosis, que particularmente ocurre en los individuos que trabajan en minas y en la fabricación de cemento.

La enfermedad de pulmón negro, una forma de silicosis, por lo general se ha encontrado en los mineros de carbón; los depósitos en los pulmones reducen la habilidad de éstos para transferir el  $\text{O}_2$  a la sangre. El tejido del pulmón normalmente elástico y esponjoso se endurece, reduciendo la eficiencia de respiración de los pulmones; con objeto de bombear un suministro adecuado de  $\text{O}_2$ , el corazón debe trabajar mas fuerte, lo que conduce a acortar la respiración, posiblemente a un agrandamiento del corazón, y eventualmente a una muerte prematura.

Adicionalmente, algunas veces las partículas pueden causar excesiva secreción mucosa como una protección refleja, ésta mucosa excesiva pueda restringir los tubos bronquiales y producir bronquitis. En otros individuos los contaminantes pueden causar suficiente irritación de los tubos bronquiales para estrecharlos, incrementando la posibilidad del desarrollo de efisema.

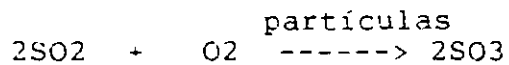
Aunque la mayoría de los efectos perjudiciales a la salud son causados por las partículas inhaladas que son suficientemente pequeños para penetrar hondo en los pulmones, evidencias recientes han mostrado que éstos depósitos en el sistema superior respiratorio pueden también llevar a problemas de salud.



Hay muchos grupos de interés público reuientes a aveniencias cuando consideran la salud humana, con mucha justificación; ha habido situaciones cuando grandes cantidades de contaminantes, combinadas con condiciones meteorológicas particulares, han llevado a un gran número de muertes atribuidas directamente, por ejemplo, en Londres en 1952 (3500 - 4000 muertes) y 1956 (900 muertes).

Hay datos que sugieren que la peor condición para la salud humana es la combinación de partículas con altas concentraciones de SO<sub>2</sub>: un gran % del SO<sub>2</sub> en la atmósfera se debe directa o indirectamente a fuentes naturales (volcanes, decaimiento de vegetación, brisa de mar, etc.). Este SO<sub>2</sub> que se genera naturalmente, sin embargo se dispersa sobre el mundo en tal forma que nunca llega a niveles peligrosos; las contribuciones del SO<sub>2</sub> por el hombre (SO<sub>2</sub> antropogénico) tiende a concentrarse en áreas industriales y urbanas y pueden elevarse a niveles peligrosos.

El SO<sub>2</sub> en el aire, frecuentemente con partículas actuando como catalizadores, puede convertirse a SO<sub>3</sub>:



Las superficies de las partículas pueden proporcionar un sitio para la reacción para que ocurra la formación de SO<sub>3</sub>, este SO<sub>3</sub> puede reaccionar fácilmente con el vapor de agua para producir ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que puede dañar fácilmente el tejido de los pulmones. Este problema particular se conoce a veces como smog industrial (o gris) y predomina en las ciudades que dependen mucho del uso de aceite combustible y carbón.

En la atmósfera, algunas gotas de ácido sulfúrico pueden reaccionar con amoníaco (NH<sub>3</sub>) para producir sulfato de amoníaco sólido (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> perjudicial para la salud.

El H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el aire lava dondequiera que llueva, generando "lluvia ácida", un fenómeno que se ha incrementado desde los años 1960's; la lluvia ácida no solo ha sido ligada a daños a árboles y otras plantas, aumentando el desgaste y corrosión de materiales y edificios y problemas de contaminación de agua, sino también como una posible amenaza mas a la salud humana.

La lluvia ácida también se forma por emisiones de NO, que reaccionan para formar en la atmósfera ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>); a finales de los 1970ns, la lluvia ácida fué decladara como posiblemente "el problema ambiental mas severo del siglo".

## VISIBILIDAD

La pérdida de visibilidad tiene un impacto psicológico en el hombre; en días claros libres de contaminación ambiental se puede ver a unos 250 Km., pero conforme el aire está más contaminado la visibilidad se deteriora.

La disminución en la visibilidad es causada por una variedad de contaminantes: las partículas pequeñas (de 0.1 a 1.0  $\mu$ m diámetro) diseminan y absorben luz; los compuestos de sulfato, el hollín de carbón y los compuestos de nitrato por lo general forman partículas dentro de este rango.

El NO<sub>2</sub> (un gas), absorbe luz azul, causando que el aire aparezca amarillo o gris rojizo. Las fundiciones de cobre, las plantas generadoras de combustible fósiles y los automóviles son los principales causantes de la reducción de visibilidad.

La visibilidad es un problema algo subjetivo que puede ser cuantificado por el "coeficiente de extinción", una medida de la suma de la diseminación y absorción de la luz por partículas finas y por gases, el coeficiente de extinción es una medida de la pérdida de luz en su camino a través de la atmósfera, por lo que, mientras más grande es el coeficiente de extinción, la visibilidad es peor. Conforme el tiempo es seco (abajo de 70% de humedad relativa), el coeficiente de extinción es directamente proporcional a la concentración de los tamaños apropiados de partículas.

En las áreas metropolitanas el promedio de visibilidad es de 50 a 55 Km y en los lugares no-urbano es de 100 a 130 Km.

## OLOR

El olor, como la visibilidad, tiene primariamente un impacto psicológico sobre el hombre; el olor (y el sabor), son estrictamente sentidos subjetivos. La nariz de una persona es todavía el mejor dispositivo para medir el olor, aunque presenta dificultades cuando se intenta cuantificar la cantidad de olor; es difícil juzgar si un olor industrial es aceptable o no.

Los guías de la ASTM y de la EPA involucran la selección de un panel de ocho o más juicios; éstos juicios, preferentemente femeninos puesto que las mujeres tienen un sentido más agudo al olfato que los hombres, aunque no deben fumar ni estar resfriadas.

La prueba consiste en tener una muestra de aire de 100 ml que se inyecta en cada ventana de la nariz del juzgador con una jeringa; si se detecta un olor diluye la muestra de aire con aire limpio hasta que no se detecte mas olor, y a éste nivel de dilución se le llama "umbral de olor".

Los olores se miden en "unidades de olor", consistiendo de que la cantidad de olor que, cuando se dispersa en 1 pie<sup>3</sup> de aire libre de olor, es justamente detectable por el 50% de los juzgadores; si por ejemplo, una muestra se diluyó 200 veces para alcanzar el umbral, la muestra contiene 200 unidades de olor/pie<sup>3</sup>.

Hay otras pruebas que pueden ser usadas para "medir" el olor; éstas incluyen regimenes de flujo de gas y la determinación cualitativa y cuantitativa de los compuestos olorosos, por medio de instrumentos como cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas, sin embargo, ninguno de estos métodos realmente determina el olor, y no se emplean cuando se consideran mediciones de contaminación del aire.

#### EFFECTOS SOBRE LOS ANIMALES

Los efectos sobre la salud de los varios contaminantes en los animales son casi los mismos que los efectos sobre los humanos; adicionalmente, los insecticidas pueden también ser un problema mayor para los animales.

Frecuentemente las fuentes de alimentos de los animales se contaminan por una forma u otra de contaminantes del aire, y hay numerosos casos documentados de gran número de muertes de animales que pueden relacionarse directamente con éste problema; muchos pesticidas pueden ser llevados a través de la cadena de alimentación, por ejemplo, si se rocía un pesticida sobre una área grande, mucho de éste va finalmente a un lago o corriente de agua, para consumo de peces. Los peces pueden ser comidos por ciertos tipos de aves, que entonces son afectados.

Por ejemplo, los pesticidas conteniendo cloro han sido relacionados con cascarones de huevo mas delgados de aves predatorias consumidoras de pescado; éstos huevos de cascarones mas delgados se rompen antes de incubar por lo que se pierden éstas crías.

## EFFECTOS SOBRE LAS PLANTAS

Cada contaminante o combinación de contaminantes crean su propio tipo de daño, y a partir de un examen de la planta es a veces posible identificar la naturaleza del contaminante.

Los principales contaminantes que afectan la vida de las plantas son los contaminantes primarios SO<sub>2</sub> y fluoruro de hidrógeno (HF), y los contaminantes secundarios O<sub>3</sub> y PAN.

El SO<sub>2</sub> puede tener efectos agudos o crónicos sobre la vida de las plantas; un blanqueado inicial de las células de las plantas y el impedir su crecimiento con frecuencia conducen a su muerte.

Los fluoruros, aunque no son contaminantes comunes del aire, producen serias afectaciones a las plantas, por lo general los fluoruros se generan en la fabricación de fertilizantes fosfatados y también en la reducción del mineral de aluminio. El síntoma usual es que el tejido de la hoja muere en la punta.

El O<sub>3</sub>, igual que el SO<sub>2</sub> blanquea las células de las plantas, siendo las coníferas particularmente susceptibles; inicialmente el daño se observa en el final de la hoja.

El PAN también tiende a ser muy reactivo con el nitrógeno en los materiales de las plantas, probablemente interrumpiendo el enlace en las moléculas proteínicas.

Por lo general las partículas llevan a la fitotoxicidad, inhibición de la respiración y/o fotosíntesis; los culpables típicos son el polvo de los hornos de cemento, el hollín, polvo de fundiciones y el óxido de magnesio. Estos polvos pueden cubrir a las hojas densa y completamente, y no permitir que funcionen las actividades biológicas normales.

## EFFECTOS SOBRE LOS MATERIALES

Uno de los mas serios problemas que afectan los materiales es debido al SO<sub>2</sub> y al H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el aire, la lluvia ácida; el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), el constituyente primario de la piedra caliza, es también el mayor ingrediente en el mármol, mortero y concreto. Desafortunadamente el CaCO<sub>3</sub> reacciona fácilmente con el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para producir sulfato de calcio soluble en el agua (CaSO<sub>4</sub>):



El CaSO<sub>4</sub> se lava con la lluvia, dejando los monumentos, estatuas o edificios picados y exponiendo nuevas superficies de CaCO<sub>3</sub> a reacciones posteriores; en los pasados 40 a 50 años se ha causado mas daños a las ruinas griegas y romanas que el causado en los 2000 años previos.

El H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> también reacciona con materiales como metales, hule plástico y algunos tipos de telas, arruinándolos parcial o totalmente.

El NO<sub>2</sub> puede blanquear la telas, algo particularmente significante en algunos de los primeros tejidos sintéticos, y puede también causar degradación en muchas telas, adicionalmente, el NO<sub>2</sub> ayuda en la corrosión de varias aleaciones de níquel-bronce.

Las partículas ennegrecen y dañan materiales que van desde telas hasta edificios; muchos edificios se someten ahora a limpieza de sus fachadas después de muchos años de estar expuestos a partículas contaminantes en las ciudades.

## EFFECTOS Y CAMBIOS METEOROLOGICOS

La contaminación del aire puede tener un efecto mayor sobre el clima, tanto regional como globalmente, regionalmente, se puede alterar la lluvia por la presencia de la contaminación del aire.

La razón para lo anterior puede ser vista si se considera como y porque se forma la lluvia: la humedad en el aire se colecta en pequeñas gotas usando una partícula como el nucleo. Estas pequeñas gotas se juntan inicialmente y forman nubes, y si hay suficiente concentración de humedad, las gotas pueden atraer mas vapor de agua hacia ellas mismas, crecen en tamaño y eventualmente formar lluvia, es decir, que la presencia de partículas catalizan la condensación inicial de humedad y la formación de gotas.

Debido a este comportamiento, la contaminación del aire puede tener influencia opuesta sobre la precipitación; demasiadas partículas pueden fortalecer la formación de muy pequeñas partículas nucleares comparadas con la humedad disponible. Cada partícula no puede atraer suficiente vapor de agua hacia ella misma, de forma que no puede crecer lo suficiente para formar gotas de lluvia, y el efecto neto es una disminución en la precipitación.

El efecto climático global se relaciona con el balance de calor de la tierra; hay dos teorías propuestas, pero opuestas para predecir el efecto neto de la contaminación del aire sobre la temperatura.

el efecto invernadero. El incremento en el quemado de combustibles fósiles aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera; este CO<sub>2</sub> es importante en la medida en que es casi transparente a la radiación visible, pero es fuerte absorbedor y radiador de la radiación infrarroja (calor), y en ésta forma el CO<sub>2</sub> atmosférico actúa como un cristal en un invernadero. La luz visible penetra la capa de CO<sub>2</sub> y es degradada en la superficie de la tierra, pero el calor formado no puede ser radiado hacia fuera; muchas grandes ciudades y áreas metropolitanas se han vuelto en promedio en años recientes más calientes y tienden a ser más cálidas que las áreas rurales de alrededor;

la disminución de la penetración de los rayos del sol en la capa de contaminación del aire. La presencia especialmente de partículas en la atmósfera evita que muchos rayos de sol alcancen la superficie de la tierra; no solo las propias partículas cubren algunas ciudades, sino también y más importante, la presencia de más partículas tiende a incrementar las nubes en grandes altitudes evitando que algunos rayos del sol lleguen a la superficie de la tierra.

Solo el tiempo podrá decir cual de éstas dos posibilidades predominará, pero un cambio promedio en cualquier dirección de solo unos grados podría ser precursor de cambios climáticos mayores.

La magnitud de los cambios de temperatura ha sido pronosticado en el rango de menos de 0.03°C a un máximo de 3°C; la temperatura de cualquier lugar típico puede variar ésta cantidad en menos de una hora, por lo que éste pequeño cambio no puede representar un peligro inminente.

La noción popular de que con un incremento de temperatura se pueden fundir las glaciares incrementando el nivel de los océanos 100 m. ó más, sería devastador porque la mayoría de la población vive en elevaciones de 300 m ó menos.

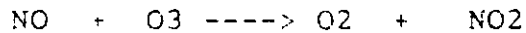
El impacto más crítico a corto plazo podría ser el cambio en el crecimiento de cosechas en las regiones del mundo; una elevación promedio de temperatura de 1.5°C podría cambiar las cosechas de granos a regiones más hacia el norte en donde el suelo es menos productivo.

A la fecha, no hay evidencia de calentamiento o enfriamiento global; datos de temperatura han sido colectados por la serie TIROS-N de satélites de tiempo. La primera década de información (de 1979 a 1986) ha sido analizada y revela que no hay tendencias de temperatura a largo plazo. Las lecturas de satélites muestran mucha variabilidad de mes a mes y de año a año, refutando la percepción popular de que la atmósfera de la tierra se esta calentando gradualmente sobre bases anuales.

Observando los datos de temperatura terrestre a largo plazo, los científicos observaron una tendencia de incremento de temperatura antes de 1940, anterior al mayor aumento en la concentración del CO2 atmosférico; ésto fué seguido por un decremento en la temperatura de 1940 a 1965. Se tiene claro que se requieren mas datos antes de que cualquier conclusión firme se tenga sobre las tendencias de temperatura a largo plazo.

Otro posible efecto global (no un efecto climático verdadero) se relaciona con la capa de O3 ózono sobre la tierra; la presencia de la capa O3 es muy importante para la vida en nuestro planeta, porque ésta ayuda a protegernos de daños potenciales por radiaciones ultravioletas (UV). Estudios científicos recientes han mostrado un agujero en la capa de ozono sobre la antártida.

La depleción de la capa de O3 ha sido potencialmente asociada con un número de contaminantes, los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con el CO3:



Normalmente los óxidos de nitrógeno no alcanzan la estratósfera (en donde se encuentra el O3), porque reaccionan antes de difundirse a esa altura, de forma que ésto no es un problema mayor; el NO2 tiene un tiempo de residencia típico de solo tres días, y el NO de cuatro días, sin embargo, los nuevos aviones de transporte supersónicos emiten óxidos de nitrógeno directamente a la estratósfera, justo a la capa de O3, de forma que es posible que los efectos podrían ser serios.

Los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), que a veces se emplean como propulsores en botes de aerosoles y como líquido refrigerante, puede tener también efectos negativos sobre la capa de O3; su relativa no-reactividad, que lo hace buen propulsor, le permite emigrar a la estratósfera antes de reaccionar. Muchas Compañías de EUA han reemplazado voluntariamente los CFC's por otros químicos o por técnicos de bombeo mecánico, pero la ONU acuerdo no exigir la eliminación global de los CFC's hasta el año 2000, con un periodo adicional de 10 años de gracia para las naciones en desarrollo.

## EL RUIDO Y LA CONSERVACION DE LA AUDICION

La pérdida de la audición constituye una desgracia que ha afectado a la especie humana a lo largo de su historia, que se manifiesta en todos los sectores y puede ser ocasionada por las causas más diversas; hasta la reciente aparición del audiómetro no existía medio alguno de determinar con exactitud el grado de disminución de la capacidad auditiva. Actualmente, sin embargo, la pérdida parcial del oído se puede medir con ayuda de instrumentos que se pueden adquirir en el mercado.

**EL RUIDO.**- La descripción física completa de un sonido determinado no puede anticipar si a nosotros, individualmente, nos gustará o no. Si el sonido no nos gusta, este sonido es un ruido. De hecho, el ruido puede definirse en dos palabras: Sonido indeseable. Sin embargo, este concepto aparentemente sencillo disimula muchas sutilezas imprevistas. En efecto, un determinado sonido podrá constituir música para una persona y ruido para otra; podrá ser agradable si es poco intenso, pero ruido si es intenso. Podrá ser acaso aceptable durante un breve tiempo, pero será ruido si se prolonga; intrigante es si es rítmico, pero ruido si es repetido el azar, o bien razonable, si lo hacemos nosotros, pero ruido si lo hace algún otro. De todos atributos que distinguen entre un sonido deseado y otro desagradable, de que por regla general consideramos como el más significativo es la intensidad.

Existen muchas pruebas de que la exposición a sonidos intensos es perjudicial de modos diversos, y a la mayoría de la gente no les gusta ser perjudicados por consiguiente cuanto más intenso es un sonido, tanto más probable es que se le considere como ruido (con algunas excepciones en las discotecas).

**Algunas de las características del ruido son:**

La intensidad (ó presión), la frecuencia y la duración. Todos estos factores revisten importancia en la evaluación de los efectos del ruido en el oído humano. Cuanto más elevado es el ruido, mayor es la intensidad; así mismo, los ruidos de alta frecuencia son más nocivos al oído que los de baja frecuencia y cuanto más prolongada es la exposición al ruido, más pronunciado será el daño producido al aparato auditivo humano.

Al examinar minuciosamente estas propiedades, identificaremos enseguida los métodos de control de ruidos y de preservación de la audición.



- OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD.- Según sabemos el organismo vivo, como por ejemplo, el ser humano es un sistema muy complicado y los efectos de tensión o trastorno siguen caminos muy intrincados que a veces resultan difíciles de descubrir. En efecto, muchos investigadores creen que la pérdida del oído no es la consecuencia más grave del ruido excesivo. Los primeros efectos son reacciones de ansiedad y tensión ó en casos extremos, de miedo. Estas reacciones suelen acompañar un cambio en el contenido de hormonas de la sangre, lo que a su vez, produce cambios en el organismo, tales como velocidad aumentada del corazón, constricción de los vasos sanguíneos, espasmos digestivos y dilatación de las pupilas de los ojos. Resulta difícil apreciar que los efectos a largo plazo de semejante sobreestimulación, pero sabemos que, en los animales daña el corazón, el cerebro, el hígado, y produce trastornos emocionales. Los efectos emocionales sobre la gente son, por supuesto, difíciles también de medir. Pero sabemos, con todo, que la eficiencia del trabajo disminuye al aumentar el sonido.

### CONTROL DE RUIDOS

Todo problema de ruidos puede descomponerse en tres partes:

- a.- Un foco que irradia energía sonora.
- b.- Una vía a través de la cual se propaga la energía sonora.
- c.- Un receptor como, por ejemplo, el oído humano.

- El control de los ruidos en su fuente constituye un problema de ingeniería que supone la modificación o rediseño de foco emisor.
- La reducción del nivel de ruidos a lo largo de la vía de propagación se puede lograr de muchas maneras: protegiendo o cubriendo el foco emisor, aumentando la distancia entre éste y el receptor, o colocando algún elemento aislante que los separe.
- El control de ruidos en el propio receptor -si este es humano- se puede lograr de modo efectivo de diversas maneras. Algunos de los métodos más prácticos consisten en: colocar el receptor dentro de una cámara aislante, el empleo de protectores auditivos, y la limitación del tiempo de exposición.

~~El método de los sistemas, aplicado al análisis y control del ruido, contribuirá a la mejor comprensión, tanto del problema en sí como de los cambios que serán necesarios para lograr una efectiva reducción del ruido. Si colocamos cada una de las partes integrantes del sistema -vía y receptor- dentro de su propia perspectiva, el problema global se verá muy simplificado. Expresando estos principios generales en términos concretos, los casos que siguen constituyen ejemplos específicos del control de la exposición a los ruidos de origen industrial.~~

**AISLAMIENTO DEL TRABAJADOR.**- En aquellos casos en que hay un número reducido de operadores y el proceso es de naturaleza tal que resulta posibles circunscribir las operaciones en un área limitada, el aislamiento de los trabajadores en un recinto con tratamiento acústico proporciona un control realmente efectivo. Este método se ha puesto en práctica en plantas químicas, eléctricas y metalúrgicas, habiéndose obtenido unos resultados en términos de reducción de ruidos dentro de los recintos aislados, de hasta 30 decibelios.

**AISLAMIENTOS DE LAS MAQUINAS.**- Las máquinas que descansan directamente en suelos y paredes transmiten vibraciones a estos elementos que, a su vez, provocan radiaciones sonoras. El empleo adecuado de soportes para el montaje de maquinaria contribuye al aislamiento de esta y a la reducción de niveles de transmisión de vibraciones.

**CONTROL DE RUIDOS POR ABSORCION.**- El ruido emitido por un foco se propaga en todas direcciones; Cuando las ondas sonoras chocan contra los muros o contra otras máquinas, se reflejan; por lo tanto, el valor total de la exposición del ruido dentro del local será igual a la suma del ruido directo y al reflejado. El revestimiento de los muros con materiales capaces de absorber el ruido, contribuirá a reducir el nivel de exposición dentro del local. Sin embargo, este método posee una aplicación industrial limitada ya que el material absorbente carece de efecto alguno sobre el ruido que emana directamente del foco anterior.

~~SUBSTITUCION DE LA MAQUINAS POR MODELOS MENOS - RUIDOSOS.~~ - El campo de aplicación de este procedimiento de control de ruidos puede resultar limitado. Existen, no obstante, ciertos campos en los que la sustitución puede resultar factible. Entre estos podemos citar: Los equipos de inserción a presión como sustituto de los martinets, la soldadura en lugar de los remaches y el empleo de productos químicos para el abrillantamiento de metales en lugar de los métodos mecánicos de pulido y bruñido a alta velocidad.

REDUCCION DEL TIEMPO DE EXPOSICION.- La experiencia ha demostrado que al limitarse el tiempo de exposición disminuye la peligrosidad del ruido. Este principio queda ilustrado en el esquema de los llamados valores límites.

Otro método que debiera tomarse en cuenta para un control de ruido es la protección personal contra el mismo, esto dependerá de las condiciones que se necesiten en el lugar donde se encuentra el foco emisor.

Un ejemplo reciente acerca de la exposición de la gente a la música de rock proviene de el hecho de que dicha música es efectivamente, a menudo, muy fuerte. La preocupación es que se han registrado en algunas discotecas niveles de sonido de 125 decibeles. Semejante ruido se sitúa en los límites de la percepción dolorosa y es indiscutiblemente ensordecedor. Sería análogo escuchar música ensordecedora y mirar fijamente al sol lo que produce ceguera.

## CONTAMINACION POR RUIDO.

El sentido del oído tiene una gran amplitud entre los límites de percepción, se pueden escuchar sonidos con valores apenas de 15 Hertz, hasta tan altos como de 2000 Hz. Como una idea de valores de frecuencia, está el producido por el do central de un piano con 261 Hz. y una longitud de onda de 1.22 m, el fa agudo de un soprano con 1408 hz. y una longitud de onda de 23.8 cm., mientras que el re de una cantante de opera de registro bajo con 74 Hz. y una longitud de onda de 4.60 m.

Todo sonido indeseable se clasifica como ruido; de esta manera, para distintas personas y dentro de ciertos límites, la música puede ser aceptada agradablemente o rechazada como molesta, catalogada en este último caso como ruido.

El decibel es la unidad que expresa la relación entre las potencias de un sonido determinado y un sonido de referencia en escala logarítmica. Relacionado con el bel, éste 0.000204 dina/cm.2 y equivale a 10 veces el logaritmo base diez, del cociente de la fluctuación en la presión de un sonido, entre la presión de referencia de otro:

$$dB = 10 \log. \frac{P_1}{P_0}$$

$P_1$  = fluctuación en la presión

$P_0$  = presión de referencia

La intensidad de frecuencia es el Hert, abreviado Hz.; a su vez frecuencia es el número de ciclos o vibraciones por unidad de tiempo (segundo) de un tono puro.

La presión de referencia es de 20 micropascales.

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 0.1 \text{ dina/cm}^2$$

$$N = \text{newton}$$

## RESUMEN

**EL RUIDO.**— Es un problema cada vez más grave en la sociedad industrial.

Está formado por ondas acústicas que se propagan a través de cualquier medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso.

La unidad de medición del ruido es el decibel (dB).

La velocidad del ruido depende de la temperatura del medio que atraviesa.

Velocidad en el aire a temperatura ambiente = 340 m./seg.

en el agua dulce	=	1410 m./seg.
en el agua de mar	=	1545 m./seg.

La velocidad de las ondas es variable, esta variación se llama frecuencia (Hz). El oído humano capta desde 20Hz hasta 20,000 Hz.

Infrasonido < 20 Hz

Ultrasonido > 20,000 Hz

El ruido se amortigua según su recorrido.

**Técnica para disminuir el sonido:**

- Disminuir el ruido de la fuente sonora
- Reforzar aislamiento de las paredes, fachadas (ventanas).
- Usar normas antirruído
- Aislar los equipos ruidosos
- Uso de tapones en las orejas

En la escala siguiente, se presenta el nivel sonoro aproximado de sonidos típicos en escala de "db".