



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

GASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICA  
P R E S E N T A

ADUNA BARBA MARIA DE LOURDES



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1  
28j



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## JURADO ASIGNADO

**PRESIDENTE**

Prof. Méndez Chávez Lucila C.

**VOCAL**

Prof. Ortiz Ramírez José Antonio

**SECRETARIO**

Prof. Torres Barrera Rodolfo

**1er SUPLENTE**

Prof. Sierra Martínez Hermenegildo

**2do SUPLENTE**

Prof. Ramírez Burgos Landy Irene

### **Sitio donde se desarrollo el tema:**

Laboratorio de Ingeniería Química  
Facultad de Química, UNAM  
y  
Servicios Profesionales en Control de Contaminantes  
SPECESA

**I. Q. Lucila Cecilia Méndez Chávez  
Asesor**

**I.Q. David Alden Harney  
Supervisor Técnico**

**María de Lourdes Aduna Barba  
Sustentante**

*Agradecimientos de toda la vida:*

*A mis papás, que el amor incondicional que me  
brindan de alguna manera ha formado lo  
que soy y en mi quedará siempre  
lo que han sembrado.*

*A mis hermanos, porque no hay mejores amigos!*

*A Cuau, mi amorsiu... el amor, la comprensión,  
la ternura, el apoyo y la entrega pueden crear grandes  
cosas, doy gracias por tenerte a mi lado, Te amo!*

*A mis felinos Diego y Mariel, ya que la única luz que nunca dejará  
de alumbrarme es la que Uds. brindan con su  
sonrisa, que tan grabada llevo en mí.*

*A Luci ... contigo siempre se aprende algo  
nuevo a diario, no tienes idea cuanto te  
admiro y te quiero! gracias por tu apoyo.*

*A los lngs. Rodolfo Torres Barrera y José Antonio Ortíz  
por su la gran calidad humana. A la Universidad  
siempre le hará falta profesores como Uds.*

*A Estelita, que todo el apoyo inconsciente  
que nos hemos dado, y que ahora es  
consiente crezca cada día más.*

*A mis amigas Adriana, Angélica y Maricela  
porque su amistad logró superar la etapa escolar  
para convertirse en aquella de toda  
la vida, las quiero mucho!*

*A Aris... por que la amistad logra formar  
lazos que nunca se romperán!*

*A Hector Vega, porque mucho de lo que representa  
llegar a este punto, se debe a tu apoyo de siempre!*

*A Chila y a Chato, por su apoyo y  
motivación, que es invaluable!*

*Gracias!!*

Todos los procesos industriales requieren de materia prima que al someterse a un proceso químico origina el producto deseado. Desafortunadamente no toda la materia prima que entra se convierte en un producto útil. Así podemos afirmar que **toda la industria genera residuos** ya sea en forma de líquidos, gases ó sólidos y que por la diversidad de sus características algunos pueden ser peligrosos o tóxicos al medio ambiente y a la salud humana.

En la actualidad, tanto en foros nacionales como internacionales se analiza y discute la problemática relacionada con los riesgos que provocan los productos químicos peligrosos. En estos foros se hace énfasis, en que una reducción efectiva de éstos productos se logra si se utiliza el enfoque de **"ciclo de vida integral"** ; es decir, **control y reducción de productos químicos peligrosos desde su cuna hasta su tumba.**

La industria en **México** genera gran cantidad de residuos, aproximadamente **450,000 ton/día** de los cuales se estima que **14,500 ton** son consideradas como **residuos peligrosos**, lo que equivale a cerca de cinco millones de toneladas anuales.

México se enfrenta en este momento al problema de encontrar soluciones a mediano y a largo plazos para el manejo de sus residuos municipales y peligrosos. En especial, la Ciudad de México se ve presionada por la rápida saturación de los rellenos sanitarios existentes y por la gran cantidad de confinamientos de residuos peligrosos clandestinos, que ponen en peligro a la salud humana.

Entre los residuos peligrosos más importantes se encuentran las dioxinas y furanos, así como los bifenilos policlorados (**PCB's**). Está comprobado que estos tipos de compuestos tienen efectos altamente tóxicos; que son carcinogénicos y teratogénicos; que se pueden absorber por la piel, las vías respiratorias o ingerir con la alimentación. Frecuentemente se menciona que el cloruro de polivinilo (PVC) es la mayor fuente de dioxinas, pero en realidad, las sustancias orgánicas combinadas con cloruros también pueden producirlas.

Existen diferentes tecnologías para el tratamiento y disposición de los residuos. La tecnología que se deba emplear para cada uno de ellos depende de las características del mismo y de la disposición final que se le vaya a dar al material.

Para el tratamiento de un residuo peligroso se pueden aplicar procesos físicos, químicos, *térmicos*, biológicos y de estabilización y solidificación.

Aun cuando existe una gran diversidad de tecnologías, algunas presentan riesgos en cuanto al tratamiento que se da tanto por emisiones debidas a una combustión incompleta, generación de subproductos como SO<sub>x</sub> , NO<sub>x</sub> , HX y por la deficiencia de destrucción de los mismos , por un lado y por otro las cenizas resultantes del tratamiento siguen considerándose como residuo peligroso.

La procesos térmicos presentan una buena alternativa para la eliminación de elementos tóxicos, reducción considerable de volumen, casi 90% y una clara opción para recuperación de energía.

El objetivo de éste trabajo será analizar una nueva tecnología de destrucción térmica a la que se le denomina **Gasificación de residuos peligrosos**. Se mostrará que ésta alternativa ofrece mayores ventajas comparativamente hablando respecto a otras tecnologías, para ello, se hace un análisis de los principales sistemas de destrucción térmica que existen como son la incineración y la pirólisis.

Este método de gasificación ha sido usado desde hace muchos años para la gasificación del carbón de hulla, el coque de petróleo, entre otros; con el fin de generar gases combustibles y no agotar la existencia de los recursos naturales. También representa una alternativa para los países en donde estos recursos naturales son muy difíciles o muy costosos de obtener.

En esta tecnología se propone utilizar este método para gasificar residuos peligrosos con el mismo propósito; *la obtención de gases combustibles y recuperación de energía tanto eléctrica como en forma de vapor.*

El sistema utilizado para la recuperación de energía eléctrica es reconocido como de ciclo combinado (**IGCC**), tiene ventajas tan importantes como la utilización de combustibles limpios generados a partir de la gasificación de residuos peligrosos, por lo que el sistema IGCC cumple en exceso con las reglamentaciones ambientales; debido a que la composición del gas, monóxido de carbono e hidrógeno principalmente, en el ciclo combinado permite alcanzar en las turbinas eficiencias altas hasta de aproximadamente 50%.

A esto se suma que la destrucción del residuo peligroso puede realizarse como un servicio en donde, se pague por el residuo ó se le reciba en forma gratuita, esto convierte al proceso en un *generador de energía eléctrica prácticamente gratuito*.

Por otro lado, el sib-producto obtenido, considerado en la incineración como residuo, en este proceso después de la destrucción es un sólido vítreo no lixiviable y no una ceniza peligrosa.

En E.U. se instaló una planta piloto de **Gasificación de residuos peligrosos** para realizar pruebas experimentales en cuanto a la destrucción de uno de los residuos más peligrosos, los bifenilos policlorados, **PCB's** (Global Energy Inc. from Battelle Memorial Institute, Sep. 13,1989) . Se listarán los resultados obtenidos de estas pruebas que intentan demostrar que la destrucción de los bifenilos policlorados (PCB's) es mayor de **99.9999%** y no se detectan dioxinas ni furanos en los gases de emisión.

**1. Introducción.**

**Situación actual en México, en cuanto a los residuos peligrosos**

- Industrias generadoras de residuos peligrosos
- Disposición de los residuos
- Normatividad

**2. Generación y clasificación de los residuos peligrosos.**

- Definición de residuo peligroso en México y comparativamente en Estados Unidos de América
- Generación de residuos peligrosos
- Características que hacen a un residuo peligroso
- Clasificación de los residuos peligrosos tanto en México como en E.U.

**3. Métodos de destrucción térmica actuales.**

- Panorama general de los sistemas de destrucción térmica.
- Caso particular: Incineración
- Otro caso particular: Pirólisis



#### **4. Gasificación de residuos peligrosos**

- Gasificación
- Gasificación de residuos peligrosos
- Generación de energía eléctrica
- Diagramas de flujo
- Estimación aproximada de costos

#### **5. Análisis y conclusiones**

- Resultados obtenidos en una planta piloto, para PCB's
- Análisis del sistema y conclusiones

#### **6. Bibliografía.**

#### **Glosario**

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.**

### **Situación actual en México, en cuanto a los residuos peligrosos**

La sociedad moderna esta aprendiendo -a un costo muy alto- que no se puede seguir desperdiciando los recursos, adoptando procesos de producción ineficientes que generan productos de los cuales no se puede deshacer en forma ambientalmente idónea y cuyo acumulo conlleva a riesgos para la salud y el ambiente.

Tanto en México como en el mundo, la generación de residuos es un problema al que urge ya! una solución, desafortunadamente ésta no puede ser generalizada a todos los países del mundo, no se puede seguir proponiendo soluciones que únicamente son el reflejo de las soluciones adoptadas en otros países desarrollados. Cada país debe estudiar a fondo su generación de residuos, la cantidad generada, la problemática ambiental particular, y tratar de solucionarlo acorde a sus propias políticas y lineamientos, estableciendo la normatividad adecuada y afín con los tratados internacionales.

El problema de los residuos, y en especial los residuos peligrosos, representa un reto de enormes dimensiones no solo con relación a la contaminación ambiental y riesgos a la salud, sino incluso en los términos del desarrollo y la reconversión industrial, que además requiere de la integración de información, políticas y participación pública.

En la República Mexicana existen miles de plantas industriales donde se producen residuos peligrosos, pero solo existen tres confinamientos controlados y dos incineradores para su disposición, tratamiento y confinamiento final.

El problema mas serio de esta situación es el hecho de que la disposición de residuos en la clandestinidad o su mal manejo son alternativas que siempre están a la mano de quien busca reducir costos aun a pesar de transgredir la ley. Por ejemplo, uno de los lugares donde se concentra mayor cantidad de industrias es el Estado de México, en donde no se cuenta con un lugar propio o cercano donde

se pueda disponer de residuos con características de riesgo, lo que obliga a las pocas industrias que quieren cumplir con la ley a enviarlos a más de 1,000 Km. de distancia, al confinamiento controlado ubicado en Nuevo León.

Para iniciar un buen manejo de los residuos peligrosos es necesario contar un inventario de generación. Aunque se han realizado cinco intentos<sup>1</sup> aislados para contar con estos inventarios, estas acciones se han enfrentado a problemas como:

- Generación estimada basada en otros países
- El no aprovechar los procedimientos administrativos ambientales existentes como son las auditorías realizadas por la PFFPA así como la extensión de licencias que solo considera el problema de emisiones a la atmósfera y no la generación de residuos peligrosos.
- Solo se aplican a regiones o sectores específicos
- La poca información generada no se considera adecuada ni actualizada

A continuación se presenta un resumen de la información que hasta el momento se tiene, que debido a los puntos anteriores se considera aproximada:

En México se generan aproximadamente 450,000 ton/día<sup>2</sup> de residuos provenientes de distintos tipos de industrias, de los cuales, -según los cálculos realizados en el Instituto Nacional de Ecología, para 1991- alrededor de 14 500 ton/día corresponden a residuos peligrosos, lo que equivale a un 3.2 % del total.

El siguiente cuadro muestra la generación de residuos en México, para 1991, incluyendo los peligrosos.

---

<sup>1</sup> *Inventario de la generación de residuos industriales*, SEDUE, Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México, D.F., 1988

*Estudio para la Identificación de Empresas Generadoras de Residuos Tóxicos y Peligrosos en la Zona Fronteriza Norte*. PFFPA, Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, Unidad de Planeación de Auditoría Ambiental, México, D.F., 1993

*Manejo y Control de la Información Referente a los Movimientos Transfronterizos de Materiales y Residuos Peligrosos*. Dirección General de Normatividad Ambiental, INE, SEDESOL, México, D.F., 1993

*Hazardous Waste Tracking System* SEDESOL - EPA, Dallas Texas 1994

*Estudio de Prefactibilidad de la Gestión de los Residuos Tóxicos y Peligrosos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, DDF y Agencia Canadiense para el desarrollo Internacional - Le Consortium SM - Dynamis Envirotech, México, D.F., 1991

<sup>2</sup>*Residuos Peligrosos en México y en el Mundo*, Dra. Cristina Cortinas de Nava Sedesol , Instituto Nacional de Ecología. 1994

**Volumen estimado de generación de residuos sólidos industriales, incluyendo los peligrosos  
(a nivel nacional)**

	1990		1991	
	Ton/día	Ton/año (miles)	Ton/día	Ton/año (miles)
Minería extractiva y de fundición	300 000	109 500	337 500	123 187
Industria Química: básica, orgánica e inorgánica	70 500	25 732	81 000	29 565
Agroindustria	29 500	10 767	31 500	11 498
<b>Peligrosos</b>	<b>15 500</b>	<b>5 657</b>	<b>14 500</b>	<b>5 292</b>
<b>Generación Total</b>	<b>415 500</b>	<b>151 656</b>	<b>450 000</b>	<b>169 542</b>

**Industrias generadoras de residuos peligrosos**

En el cuadro de la página siguiente se muestran los principales sectores de la industria nacional.

La *industria química nacional* comprende **5,472** plantas (INE-1993); sin embargo es importante hacer notar que aunque el 60% de la industria química está distribuida principalmente en el Estado de México, Veracruz, Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara existen alrededor de **2'147** empresas en la franja fronteriza norte de México, constituidas en **84%** por maquiladores y el resto son industrias nacionales. Las ciudades con mayor número de empresas maquiladoras son Tijuana con 612 y Ciudad Juárez con 343.

<b>SECTORES</b>	<b>UNIDADES INDUSTRIALES</b>
<b>Minería y Extracción del petróleo</b>	2402
<b>Subsector</b>	
<b>Carbón</b>	46
<b>Petróleo y gas natural</b>	33
<b>Extracción de minerales metálicos</b>	678
<b>Extracción de minerales no metálicos</b>	1645
<b>Industrias manufactureras</b>	141446
<b>Subsector</b>	
<b>Productos alimenticios, bebidas y tabaco</b>	51151
<b>Textiles, prendas de vestir e industria del cuero</b>	16853
<b>Industrias y productos de madera</b>	16141
<b>Papel y productos de papel, imprentas y editoriales</b>	7952
<b>Sustancias químicas, productos derivados del petróleo del carbón, del hule y del plástico</b>	5472
<b>Productos minerales no metálicos</b>	14502
<b>Industrias metálicas básicas</b>	932
<b>Productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión)</b>	26945
<b>Otras industrias manufactureras</b>	1498
<b>Industria Eléctrica</b>	36
<b>Subsector</b>	
<b>Electricidad</b>	36
<b>Industria de la Construcción</b>	5308
<b>Subsector</b>	
<b>Construcción</b>	5308

FUENTE: XIII Censo Industrial, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1989

Las principales actividades de las empresas fronterizas son:

*Industrias Maquiladoras:* Se dedican principalmente al ensamble de artículos eléctricos y electrónicos, incluyendo el armado de arneses eléctricos, la elaboración de productos de metal, costura de artículos en general, productos de madera y plástico.

*Industrias Nacionales:* Las actividades más importantes que realizan son la elaboración de productos de metal, alimenticios y químicos.

Se tienen identificadas alrededor de 1'673 empresas generadoras de residuos peligrosos, lo que corresponde al 78% del total de 2'147 mencionado. De éstas, 1'408 empresas son maquiladoras (84%) y el resto (265 empresas) son nacionales.

El siguiente cuadro muestra la distribución de las empresas generadoras de residuos en la franja fronteriza norte.

**Empresas generadoras de residuos peligrosos.**

<b>Estado</b>	<b>No. de maquiladoras</b>	<b>No. de empresas nacionales</b>	<b>Total</b>
<b>Baja California</b>	725	126	851
<b>Chihuahua</b>	343	65	408
<b>Tamaulipas</b>	181	16	197
<b>Sonora</b>	142	20	162
<b>Coahuila</b>	77	38	115
<b>Total</b>	1 468	265	1733

Las empresas que se dedican a elaborar productos eléctricos y electrónicos son las que generan mayor cantidad de residuos; lo contrario sucede con las de costura, alimentos, cuero y calzado.

Las empresas de mayor tamaño son las que generan la mayor cantidad de residuos peligrosos (aproximadamente 53% del total de residuos peligrosos) y son las que, en términos generales, sí manifiestan y registran sus residuos. El siguiente cuadro muestra el tipo de residuos generados con mayor frecuencia.

*Los residuos peligrosos que se generan con mayor frecuencia.*

<b>Residuos</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Solventes</b>	36
<b>Aceites y grasas</b>	13
<b>Pinturas y barnices</b>	8
<b>Soldadura Pb-Sn</b>	6
<b>Ácidos y bases</b>	3
<b>Derivados del petróleo</b>	2
<b>Metales pesados</b>	2
<b>Resinas</b>	4
<b>Otros</b>	20

Fuente: Dirección General de Normatividad Ambiental, INE. Nov. 1994

Actualmente entre México y Estados Unidos se da un activo movimiento transfronterizo de residuos peligrosos. Por un lado la industria maquiladora exporta residuos peligrosos a E.U.A., en los términos del artículo 153 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA); dichos residuos son equivalentes a 32'707 ton./año, por otro lado, varias empresas mexicanas dedicadas al reciclaje o recuperación de materiales secundarios importan legalmente residuos. En tanto que 65% de las empresas generadoras no manifiestan el lugar de disposición de sus residuos, los cuáles sumarían alrededor de 16'054 ton./año.

Las siguientes tablas muestran información aproximada relativa a la importación y exportación de residuos para reciclaje.

**Importación de residuos peligrosos  
con contenidos metálicos  
1992-1993**

Aluminio (chatarra, escoria, alambre cable)	18 090 ton.
Cobre (chatarra, escoria, alambre cable)	19 559 ton
Níquel (catalizador agotado, escorias)	208 ton
Plomo (acumuladores agotados, óxidos y natas)	6 500 ton
Cinc (polvillos de hornos, eléctricos)	269 950 ton

### **Tratamiento de residuos.**

La capacidad instalada para el tratamiento de los residuos industriales peligrosos y no peligrosos incluye:

- 12 empresas para el reciclaje de solventes usados
- 11 empresas para el manejo de aceites lubricantes usados
- 6 empresas para almacenamiento temporal
- tres confinamientos controlados de servicio público para la disposición final de residuos peligrosos
- un confinamiento de residuos peligrosos de tipo privado
- tres plantas incineradoras, de las cuales dos son privadas,
- una empresa para el reciclado de metales.
- 12 equipos móviles para el tratamiento *in situ* de residuos peligrosos
- 5 empresas para recolección y transporte de residuos peligrosos
- 3 empresas para la formulación de combustible alternativo
- 4 empresas cementeras bajo protocolo de pruebas para la recuperación de energía alternativa a partir de residuos peligrosos.

Fuente: Bases para una Política Nacional de Residuos Peligrosos, INE. Nov.1994

Es necesario señalar que existen más de 70 empresas autorizadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para el transporte de residuos peligrosos que carecen de la autorización correspondiente del INE e incurrir en ocasiones en prácticas inadecuadas como es el de disponer de residuos en barrancas o terrenos baldíos, por falta de incentivos o de los sistemas de control adecuados para garantizar que la carga sea llevada a su destino legal.

### **Normatividad.**

La evaluación de los efectos en la salud de los residuos peligrosos en México no ha sido objeto de un estudio sistemático, por lo cual no es posible determinar la magnitud del problema y se infiere a partir de la descripción de casos que han sido notificados por los medios de comunicación, por publicaciones que analizan problemas particulares o con base en la información acerca de las condiciones que privan en el país en la materia. Este problema está dando lugar a estudios que permiten caracterizar los riesgos en grupos poblacionales específicos, y se espera que contribuyan a conocer más a fondo la situación.



Al igual que sucede en otros países del mundo, en México se ha abordado la reglamentación y el control de los productos químicos desde la perspectiva de sus implicaciones sectoriales, en forma tal que un mismo producto químico puede estar sujeto a una normatividad a partir de la legislación ecológica, a la sanitaria, a la laboral, y/o a la del transporte, lo cual representa una falta de concordancia.

Aunque se ha publicado una variedad de listados de sustancias tóxicas y de materiales peligrosos por las diferentes Secretarías con diversos propósitos; entre otros, el poder definir el universo de productos químicos así como las actividades riesgosas que los involucran, lo cuál deberá estar sujeto a una normatividad, a las medidas arancelarias, o al control de importaciones, sin embargo no hay concordancia en la selección de estos productos.

Así, la normatividad respecto a los productos químicos, desechos peligrosos y actividades que los involucran, en muchos aspectos es incompleta y en otros es obsoleta, en particular en lo que respecta a las metodologías para el análisis químico de las sustancias en los distintos medios. Más aún, se dan ejemplos en los que se ha establecido un límite máximo permisible de alguna sustancia en algún producto comercial o elemento del ambiente, sin que se haya publicado el método correspondiente para su análisis.

----- *Avances.*

Uno de los avances más importantes, que hará posible la instrumentación de la **Agenda 21**, lo constituye la creación en 1987 de la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y sustancias Tóxicas (**Cicoplafest**).

Si se toman como marco de referencia las propuestas contenidas en la **Agenda 21**<sup>3</sup>, correspondientes a productos químicos tóxicos y desechos peligrosos, se identifica que México ha logrado avances en algunas materias que es importante consolidar, y en otros ha sentado las bases para orientar sus políticas y procedimientos de gestión para alcanzar el desarrollo sustentable, lo cual se ilustra a continuación.

---

<sup>3</sup> Agenda 21 es un documento que contiene las propuestas elaboradas por 186 países en materia ambiental, que sirven de base para el establecimiento de nuevas políticas y programas en áreas específicas.

----- *Políticas Normativas.*

A lo anterior hay que sumar el hecho de la publicación en julio de 1992 de la nueva *Ley Federal de Metrología y Normalización*, la cual dio lugar a que todas las normas y especificaciones técnicas, criterios, reglas, acuerdos, manuales, circulares, lineamientos y demás disposiciones en todas las materias incluyendo las relativas a productos químicos y desechos peligrosos, requieren ser replanteadas con un sustento basado en análisis costo - beneficio y riesgo - beneficio para su posterior publicación como *Normas Oficiales Mexicanas (NOMs)*, las únicas que pueden tener carácter obligatorio. Esto ofrece la oportunidad de adecuarlas a las circunstancias y así incorporar las propuestas de Agenda 21 para evitar que constituyan barreras al comercio.

La *Ley de Metrología y Normalización* prevé la participación de instancias y laboratorios privados en los procedimientos de muestreo y análisis de productos comerciales o elementos del ambiente, así como en las inspecciones y verificaciones del cumplimiento de la normatividad, siempre y cuando estén acreditados oficialmente y sujetos, en su caso, a programas de control de calidad, y buenas prácticas de laboratorio.

----- *Legislación ambiental.*

Entre los aportes más notables de la nueva legislación ambiental, introducida a partir de 1988, se encuentran el establecimiento del ordenamiento ecológico del territorio que orientará la planeación del desarrollo urbano y rural, y las disposiciones para la evaluación del impacto ambiental de las actividades productivas, así como para el estudio de los riesgos de las industrias.

La creación del Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene como uno de sus propósitos dar impulso a la actividad normativa en materia ambiental, y la *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PFPA)* debe reforzar la capacidad de verificar el cumplimiento de la legislación ambiental y atender las demandas públicas en la materia.

----- *Descentralización.*

La política actual de modernización de la administración pública, se basa entre otros, en un proceso activo de descentralización que deja en manos de las autoridades estatales y municipales la responsabilidad de la gestión ambiental, incluyendo la relativa al manejo y eliminación ambientalmente racional de los productos químicos tóxicos y materiales peligrosos, para la cual los estados (prácticamente todos) han procedido a publicar su propia Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

Existe un Programa Nacional de Capacitación sobre Gestión Ambiental, a cargo del **INE**, dirigido a funcionarios estatales y municipales con responsabilidad en la materia.

Así, resumiendo lo anterior, se puede decir que México tiene en el futuro próximo que desarrollar rápidamente un marco regulatorio y un enfoque estratégico de tratamiento y confinamiento de residuos que le permita cumplir con los compromisos de su gobierno y sentar las bases para un desarrollo sustentable y poder hacer frente a las necesidades que imponen: la nueva *Ley Federal de Metrología Y Normalización*, la liberación del comercio, su participación en diversos convenios y acuerdos internacionales en la materia, así como la instrumentación de las propuestas asentadas en la **Agenda 21**.

**GENERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS.**

***Definición de residuo peligroso.***

El término residuo peligroso comenzó a aceptarse desde 1970, pero únicamente se usaba como sinónimo de residuo industrial especial ó residuo químico.

**En México**, en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente, se definen **los residuos peligrosos** como todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. Todas estas características son identificadas como propiedades **CRETIB** de los residuos considerados de riesgo.

Uno de los países que más contribuyen a la generación y comercio internacional de productos químicos y con el cual México tiene un activo intercambio comercial es Estados Unidos de América. Así que de manera comparativa, en E.U.A., la Agencia de Protección Ambiental, conocida como USEPA ó simplemente **EPA**, es la encargada de expedir las leyes que gobiernan el manejo de los residuos peligrosos desde la generación hasta su disposición final. A ella le llevó casi 4 años promulgar las primeras leyes de residuos peligrosos hasta que en 1976 se define el término:

*Los residuos peligrosos son materiales sólidos, líquidos, gases, lodos u otros que pueden ser radiactivos o infecciosos y por razón de su actividad química pueden ser tóxicos, explosivos, corrosivos, u otras características, que causen peligro o daño a la salud o al medio ambiente. Estos residuos pueden estar solos o en contacto con otros residuos.*

Después de algunos estudios y una serie de modificaciones, se presenta una definición más clara, extensa y rigurosa:

Un residuo se considera peligroso si<sup>1</sup>:

⇒ No está incluido en las excepciones que establece la legislación del Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos ( the Resource Conservation and Recovery Act, RCRA):

- Desagüe doméstico.
- Retorno de los flujos de irrigación.
- Residuo nuclear.
- Residuo doméstico.
- Residuos generados por el cultivo de cosechas y la crianza de ganado (estiércol), los cuales regresan al terreno en forma de fertilizantes.
- Sobrecarga de la minería que se regresa a la mina.
- Ceniza muy fina, ceniza de fondo, residuo que sea escoria de metales y proveniente de los sistemas de control de las emisiones de las chimeneas de gas, cuando se utiliza carbón de piedra u otros combustibles fósiles.
- Residuos asociados con la exploración, desarrollo o producción de petróleo crudo, gas natural, o energía geotérmica, como son los fluidos de perforación y los residuos que contienen petróleo.

⇒ Exhibe alguna de las características de los residuos peligrosos en términos de inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad.

⇒ Contiene cualquiera de los elementos que aparecen en la lista de constituyentes peligrosos que elaboró la USEPA - título 40 del código de Reglamentos Federales (Code of Federal Regulations, CFR), Apéndice VII - a menos que con base en una consideración posterior de cualquiera de los factores que se presentan a continuación, se considere que el residuo no es capaz de manifestar algún posible peligro para la salud humana o para el ambiente, cuando se trata, almacena, transporta o deposita en forma incorrecta o cuando se maneja de cualquier otra forma no determinada. Estos factores son:

- La naturaleza de la toxicidad que presenta.
- La concentración en el residuo.
- La posibilidad de que el compuesto una vez degradado (o cualquier compuesto tóxico que resulte de ello), emigre hasta la atmósfera como consecuencia de un manejo incorrecto.
- La persistencia del constituyente o la de cualquier producto tóxico derivado de su degradación.
- La capacidad del componente ( o de cualquier otro producto tóxico producido por su descomposición), para degradarse en compuestos no perjudiciales y el grado en el que se puede efectuar dicha degradación.
- La proporción en la que el componente o cualquier otro producto de la degradación se bioacumule en los ecosistemas.

---

<sup>1</sup> COPE, C.B., Fuller, W.H., Willetts, S.L. *The Scientific Management of Hazardous Waste*, Cambridge University Press, Massachusetts. 1983.pp.1, 9-15.

- Las diferentes clases de manejo inadecuadas a las que se puede someter el residuo.
- Las cantidades generadas de este residuo a nivel regional o nacional.
- La naturaleza y severidad del daño a la salud humana y al ambiente, que ha ocurrido como resultado de una manipulación inadecuada de los residuos.
- Las acciones realizadas por otras agencias gubernamentales en respuesta a las situaciones de peligro (para la salud o el ambiente) originadas por el residuo o sus componentes.
- Otros factores que se consideren apropiados.
- Los residuos tóxicos y los que presentan un peligro crítico se encuentran incluidos en las listas de la USEPA (título 40 del código de reglamentos federales, partes 261.31 - 261.33(f)), en las cuales también se identifica a los residuos peligrosos provenientes de fuentes específicas y no específicas. Las sustancias que aparecen en dichas listas, se han incluido porque producen efectos tóxicos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos en el ser humano y en otras formas de vida.

Para poder presentar adecuadamente la clasificación de residuos peligrosos, es necesario presentar primero las características que los hacen peligrosos.

### ***Características que hacen a un residuo peligroso.***

En **México**, la Norma Técnica Ecológica **NTE-CRP-001/88**, establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos. Esta Norma es de orden público e interés social, así como de observancia obligatoria cuando se generen residuos a fin de identificar aquellos que sean peligrosos.

Para la determinación de los residuos peligrosos, se consideran los siguientes criterios dentro de la Norma:

#### ***I. Corrosividad.***

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

- En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5
- En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón, a una velocidad de 6.35 milímetros por año y una temperatura de 55°C.

#### ***II. Toxicidad al ambiente.***

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando:

- Al hacer la prueba de extracción de toxicidad conforme a la NTE-CRP-002/88, aparezcan uno o más de los constituyentes que a continuación se mencionan, y al efectuar los métodos de análisis previstos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes presenten concentraciones iguales o mayores a los límites señalados en el listado del siguiente cuadro:

**Constituyentes que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente.**

<b>Constituyentes:</b>	<b>Conc. máx. permitida (mg/l)</b>	<b>Constitu-yentes:</b>	<b>Conc. máx. permitida (mg/l)</b>	<b>Constitu-yentes:</b>	<b>Conc. máx. permitida (mg/l)</b>
<b>Acrilonitrilo</b>	5.000	2,4-D	1.400	Mercurio	0.200
<b>Bario</b>	100.000	1,4-Dicloro-benceno	10.800	Metoxicloro	7.200
<b>Benceno</b>	0.070	1,2-Dicloro-etano	0.400	Nitrobenceno	1.400
<b>Bis-(2-cloroetil) éter</b>	0.050	1,1-Dicloro-etileno	0.100	Pentacloro-fenol	0.130
<b>Cadmio</b>	1.000	2,4-Dinitro-tolueno	0.130	Piridina	3.600
<b>Clordano</b>	0.030	Disulfuro de carbono	14.400	Plata	5.000
<b>Clorobenceno</b>	1.400	Endrín	0.003	Plomo	5.000
<b>Cloroformo</b>	0.070	Fenol	14.400	Selenio	5.000
<b>Cloruro de metileno</b>	8.600	Heptacloro (y su epóxido)	0.001	1.1.1.2 Te-tracloroetano	1.000
<b>Cloruro de vinilo</b>	0.050	Hexacloro-benceno	0.130	1.1.2.2 Te-tracloroetano	10.000
<b>m-cresol</b>	10.000	Hexacloro-butadieno	0.720	2.3.4.6-Te-traclorofenol	1.300
<b>o-cresol</b>	10.000	Hexacloro-etano	4.300	Tetracloruro de carbono	1.500
<b>p-cresol</b>	10.000	Isobutanol	36.000	Tolueno	0.070
<b>Cromo</b>	5.000	Lindano	0.060	Toxafeno	14.400

### **III. Reactividad.**

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

- Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- Es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.
- Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.
- Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas pueden generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyan un riesgo para el ambiente.
- Es capaz de producir radicales libres.

### **IV. Explosividad.**

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

- Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno.
- Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a una atm de presión (1.033 Kg/cm<sup>2</sup>).

### **V. Inflamabilidad.**

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa contiene más del 24% de alcohol en volumen.
- Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- No es líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.
- Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

Para la determinación de las características a que se refiere esta norma, se deberán llevar a cabo las pruebas y análisis previstos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes.

### **Características en E.U.A.**

Nuevamente, de manera comparativa en los E.U.A. la EPA definió las siguientes características con las que se identifica a un residuo como peligroso:



### ***I. Inflamabilidad.***

Es la característica que se utiliza para definir la peligrosidad de aquellos residuos que pueden causar fuego durante su transporte, almacenamiento o disposición. Los aceites y solventes gastados, son ejemplos de ésta clase de residuos. Se les asigna el código de peligro "I" y presentan al menos una de las siguientes propiedades:

- Que sea un líquido con punto de inflamación menor a 60°C. Una solución acuosa que contenga menos del 20% de alcohol en volumen se excluye de esta definición, por que no puede mantener la combustión.
- Que sea una sustancia no-líquida, capaz de originar fuego por fricción, por absorción de humedad o por cambios químicos espontáneos, bajo condiciones de temperatura y presión normales. Cuando ésta sustancia arde, lo hace en forma vigorosa y persistente constituyendo un peligro.
- Que sea un gas comprimido inflamable.
- Que sea un oxidante.

A un residuo inflamable la EPA le asigna un código de residuo "D001".

### ***II. Corrosividad.***

La corrosividad, que se indica por medio del pH, se escogió como una característica de identificación de residuos peligrosos, por que se pueden efectuar reacciones entre los mismos residuos, cuando presentan un pH elevado o bajo. Se caracterizan por tener la capacidad de deteriorar contenedores normales, dañar el tejido humano, y/o disolver los componentes tóxicos de otros residuos. Los residuos ácidos y los de salmueras son ejemplos de éstos residuos peligrosos. Tienen el código de peligro "C" y exhiben alguna o ambas de las siguientes propiedades:

- Que esté en solución acuosa con un pH menor o igual a 2 ó mayor que 12.5.
- Que esté en estado líquido y sea capaz de corroer el acero al carbón a una velocidad mayor que 0.6350 cm/año y a una temperatura de 55°C.

A los residuos corrosivos la EPA los identifica con el código de residuo peligroso "D002".

### ***III. Reactividad.***

Un residuo reactivo tiene la tendencia a volverse químicamente inestable bajo condiciones normales de manejo y a reaccionar violentamente cuando se expone

al aire o se mezcla con agua; o bien puede generar gases tóxicos. Los solventes de cianuro gastados son un ejemplo de esta clase de residuos. Su código de peligro es "R" y manifiestan alguna de las siguientes propiedades:

- Es una sustancia normalmente inestable y experimenta cambios físicos o químicos violentos sin detonar.
- Reacciona violentamente con el agua.
- Forma una mezcla potencialmente explosiva cuando se humedece con agua.
- Genera gases, vapores o humos perjudiciales cuando se mezcla con agua, en cantidad suficiente como para poner en peligro al ambiente y consecuentemente a la salud humana.
- Es un residuo que presenta cianuros y sulfuros, el cual cuando se expone a condiciones de pH extremo, puede generar gases, vapores o humos tóxicos suficientes como para poner en peligro al ambiente y consecuentemente a la salud humana.
- Es una sustancia que tiene la capacidad de detonar rápidamente a temperatura y presión normales.
- Es un explosivo que aparece en la lista clase A, clase B o que es de uso restringido de acuerdo a la especificación que aparece en el título 49 del CFR (Código de Reglamentos Federales), parte 173.511.

A un residuo reactivo la EPA le asigna un código de residuo peligroso "D003".

#### ***IV. Toxicidad.***

La capacidad inherente de un agente químico por producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos se denomina Toxicidad. Su código de peligro es "E".

La EPA utiliza dos tipos de pruebas para determinar si un residuo es peligroso o no, las pruebas son EP (the Extraction Procedure) y la TCLP ( the Toxicity Characteristic Leaching Procedure). En base a estas pruebas el residuo que es clasificado como tóxico se le asigna el número de residuo peligroso correspondiente al número de contaminante que le da dicho carácter.

#### ***Diferencia entre ambas definiciones.***

La principal diferencia que cabe mencionar se encuentra en la definición hecha en E.U., donde se asigna un código de riesgo para cada una de las características que hacen peligroso al residuo, esto se convierte en una gran ventaja pues es muy fácil identificar a los residuos durante su manejo, transportación y disposición, de otra manera sucede que un individuo debe tener toda la

información a disposición inmediata para saber que tipo de residuo se esta manipulando.

Las demás diferencias consisten únicamente en definiciones más claras y concisas, de estas características, por parte de E.U.A.

### ***Generación de residuos peligrosos.***

Los residuos peligrosos son originados dentro de un intervalo muy amplio de actividades de tipo industrial, comercial, agrícola, o actividades domésticas. Son generados por fabricantes de productos de uso diario, por fabricantes de artículos especiales, por servicios de universidades, hospitales, entre otros.

Virtualmente todas las operaciones de producción generan residuos, sencillamente por que no todos los materiales de entrada al proceso pueden convertirse en productos o servicios. Dependiendo de muchos factores, entre ellos el económico, estos sub-productos o "by-products" pueden convertirse en desechos.

Después de que el residuo ha sido generado, éste puede ser manejado dentro del mismo lugar ó transportado a otro sitio para su tratamiento, disposición o reciclado del mismo. A los primeros residuos se les llama ***residuos en sitio*** (on-site waste) y a los segundos ***residuos fuera de sitio*** (off-site waste). Los segundos requieren cumplir con los reglamentos para su manejo y transportación hasta llegar al destino.

La producción de un residuo puede resultar de muchas diferentes fuentes:

- ***Materiales agotados.*** Un material de entrada que ha sido utilizado puede que ya no sea útil sin que se le proporcione un procesamiento.
- ***Sub-productos (by-products).*** Son los materiales generados en un proceso específico y ya no tiene uso en la forma en que ha sido generado, sin un procesamiento adicional.
- ***Tratamientos.*** Son por ejemplo los lodos que resultan del tratamiento de aguas residuales, de controlar emisiones al aire, o por tratamiento y recuperación de otros desechos peligrosos.

- **Productos químicos comerciales.** Un producto actual puede convertirse en un residuo por una de muchas razones numerosas:
  - ◆ limpieza de equipos de proceso.
  - ◆ fallas encontradas en las especificaciones de fabricación.
  - ◆ derrames accidentales ó goteras de otra corriente de proceso.
  - ◆ residuos por los recipientes usados por una corriente de material o producto.
  - ◆ caducidad del producto.

La generación de residuos está íntimamente relacionada con la actividad industrial y el nivel de producción. De aquí que la siguiente lista es la primera clasificación de residuos peligrosos de acuerdo a su fuente de generación o giro industrial.

## **Clasificación de los residuos peligrosos.**

### **I. Residuos Inorgánicos.**

- **Ácidos y álcalis.** Se encuentran entre los principales componentes de los residuos peligrosos generados en la industria. Sin embargo, en términos de cantidad, se puede decir que en su mayoría los residuos ácidos provienen de la preparación de superficies y del acabado de metales. El principal peligro con los ácidos y los álcalis es su acción corrosiva, complicada en algunos casos por la presencia de constituyentes tóxicos.

- **Residuos de Cianuro.** Se generan en primer lugar en la industria del acabado de metales y en el tratamiento térmico de algunos aceros. El peligro fundamental es su toxicidad crítica.

- **Soluciones y lodos que contienen metales pesados.** Los de mayor importancia son aquellos que contienen metales tóxicos como el arsénico, cadmio, cromo hexavalente, plomo, mercurio, níquel, zinc y cobre. Estos residuos se generan en una multitud de procesos, principalmente en la producción de cloro, producción de pigmentos, preservación de la madera, producción de baterías, textiles, revestimiento de metales y curtiduría.

- **Residuos de asbestos.** Normalmente se producen de los residuos de cascajo, estaciones de potencia, plantas de manufactura industrial, fábricas de gas, arsenales, establecimientos de educación y hospitales. También se pueden generar de la construcción y demolición de lugares. Los peligros a la salud debido a la inhalación de fibras de asbestos y polvo, se asocian con la potencialidad carcinogénica del material. Los tubos y láminas de asbestos constituyen un problema menor que las fibras o el polvo libre.

- **Otros residuos sólidos.** Se generan en una variedad de fuentes de las cuales las más importantes son la fundición y la refinación de metales. Los polvos y lodos generados

en estos procesos contienen por lo general metales tóxicos como el níquel, arsénico, zinc, mercurio, cadmio y plomo.

## **II. Residuos Aceitosos.**

Se originan principalmente del procesamiento, empleo y almacenamiento de aceites minerales. Entre estos se encuentran los residuos de los fluidos hidráulicos y de lubricación, lodos del fondo de los tanques de almacenamiento de aceites. En algunos casos, estos materiales se pueden contaminar con metales tóxicos como lodos de almacenamiento de gasolina con plomo.

## **III. Residuos Orgánicos.**

- *Solventes halogenados gastados.* Surgen principalmente de las operaciones de lavado en seco, de la limpieza de metales en la industria y en mucha menor cantidad, en procesos de la industria textil y del cuero. Los peligros asociados con estos residuos son el resultado de su toxicidad, movilidad y relativamente alta persistencia en el ambiente.

- *Residuos de Solventes no halogenados.* Incluye un gran número de hidrocarburos e hidrocarburos oxigenados, algunos de los más comúnmente empleados son el tolueno, etanol y metanol. Encuentran gran aplicación en la producción de pinturas, tintas, adhesivos, resinas, preservativos para la madera a base de solventes, saborizantes de alimentos, cosméticos y como adelgazantes. También se utilizan como desengrasantes en la industria de la ingeniería y en la de manufactura de automóviles y se emplean para la extracción de productos naturales a partir de fuentes animales y vegetales. La toxicidad de estos materiales es muy variada y en muchos casos el peligro que presentan es su inflamabilidad.

- *Residuos de policloruro de bifenilo (PCB's).* Se generan de la fabricación de PCB's y de los equipos en que éstos se emplean, principalmente como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores, y también como fluidos hidráulicos y de transferencia de calor. La peligrosidad que presentan estos residuos es su alta persistencia y su capacidad de bioacumulación.

- *Residuos de resinas y pinturas.* Se producen de una variedad de formulaciones y de otros procesos químicos terciarios, y también en la aplicación de pinturas y resinas a los productos terminados. Generalmente son combinaciones de solventes y materiales poliméricos incluyendo, en algunos casos, metales tóxicos.

- *Residuos de biocidas.* Se originan en la fabricación y formulación de biocidas y en el empleo de estos compuestos en la agricultura, horticultura y en otras industrias.

- *Residuos de productos químicos orgánicos.* Los residuos orgánicos también se generan a partir de la carbonización de la hulla; de las operaciones de subproductos; de la fabricación de productos químicos primarios, secundarios y terciarios. Generalmente estas corrientes residuales contienen otros residuos de la destilación y la filtración así como productos químicos halogenados y no-halogenados. Se generan en las operaciones de una gran diversidad de giros industriales: la refinación del petróleo, la manufactura de productos químicos, materias primas para tintes, productos farmacéuticos, plásticos, hule y resinas.

- *Residuos orgánicos putrescibles.* Considera a los residuos provenientes de la producción de aceites comestibles, también incluye a los residuos generados en rastros, curtidurías y en la elaboración de otros productos a base de animales. Para los países desarrollados resulta de gran importancia que se realice un manejo adecuado de los residuos putrescibles, ya que las condiciones climáticas extremas pueden aumentar los posibles peligros asociados a la salud con estos residuos orgánicos.

- *Residuos de gran volumen / poco peligro.* Se incluye a aquellos residuos, que basados en sus propiedades intrínsecas, presentan relativamente poco peligro, pero originan problemas debido a su gran volumen. Algunos ejemplos son: lodo de la extracción del petróleo y del gas, ceniza muy fina del combustible fósil quemado en plantas de potencia, residuos de la minería o escoria de metales.

- *Residuos diversos.* Además de las categorías anteriores, existen diversos residuos que no se han incluido: residuos infecciosos asociados a enfermedades con los animales o el ser humano, productos químicos deteriorados o que excedieron su tiempo de vida de anaquel, y provienen de tiendas que venden al menudeo, almacenes comerciales, almacenes industriales y gubernamentales; residuos de laboratorios de investigación, residuos explosivos de las operaciones de fabricación de municiones o su excedente. Aún cuando estos tipos de residuos no representan una gran parte de la generación total de residuos peligrosos, se deben tomar las provisiones necesarias y especiales para garantizar su disposición adecuada y segura.

### ***Residuos peligrosos según la Norma NTE-CRP-001/88, de México.***

Para efectos de ésta Norma se consideran peligrosos los siguientes residuos:

#### **1. Aguas:**

- De biodegradación de lodos, conteniendo cargas orgánicas o metales pesados contaminantes.
- Fuentes de vidrio
- De tormenta sin lodo
- Residuales de raspado y lavado en la producción de forato

#### **2. Breas:**

- Del fondo de la destilación de la producción de fenol-acetona a partir de cumeno.

#### **3. Bases:**

- Fijas de dimetil sulfato

#### 4. Cabezas:

- De destilación de la producción combinada de tricloroetileno y percloroetileno.
- De destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De destilación de la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno.

#### 5. Carbón Activado:

- Conteniendo sustancias peligrosas absorbidas, según los criterios de la misma norma.

#### 6. Catalizador:

- Gastado del reactor hidroclorador en la producción de 1.1.1-tricloroetano.
- Gastado de antimonio en la producción de fluorometano.
- Gastado de cloruro de mercurio.

#### 7. Colas:

- De la producción combinada de tricloroetileno y percloroetileno.
- De la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De la fracción en la producción de cloruro de etileno
- De la destilación de cloruro de vinilo en la producción de monómeros de cloruro de vinilo
- De destilación de dicloruro de etileno durante la producción de dicloruro de etileno.
- De destilación de la producción de tetracloruro de carbono.
- De destilación de tetraclorobenceno en la producción de 2,4,5-T
- De la columna de purificación en la producción de epiclohidrina.
- De raspado en la producción de metiletilpiridina.

#### 8. Disolventes:

- De limpieza en partes mecánicas
- De laminación mecánica en circuitos electrónicos
- Gastados halogenados en otras operaciones que no sea el desengrasado: Tetracloroetileno, cloruro de metileno, tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, trifluoroetano, o-diclorobenceno, triclorofluorometano.
- Gastados no halogenados: cresoles, ácido cresílico, nitrobenzono, metanol, tolueno, metil-etil-cetona, disulfuro de carbono, isobutanol, piridina, xileno, acetona, acetato de etilo, etil-benceno, éter etílico, alcohol n-butílico, ciclohexanona.
- Gastados halogenados usados en el desengrasado: Tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, fluoruros de carbono clorados.

#### 9. Envases:

- Envases vacíos que hubieran contenido cualquier tipo de plaguicidas.
- Envases y tambos vacíos usados para el manejo de residuos químicos peligrosos ambientales.

#### 10. Jales:

- De los procesos de concentración de metales pesados.

#### 11. Lodos:

- De baño de aceite en el templado y tratamiento de calor de metales.
- Del ánodo electrolítico en la producción primaria de cinc.
- De equipos de control de emisión de gases, humos y polvos.
- De lavadores de efluentes gaseosos de hornos de carbón y altos hornos.
- De operaciones de coquizado.
- De operaciones primarias en la producción de cobre.
- De oxidación de tratamiento biológico que contenga cualquier sustancia tóxica sujeta a control sanitario o ecológico.
- De tratamiento de aguas de residuos de templado en las operaciones de tratamiento de calor de metales.
- De tratamiento de aguas en la producción de creosota.

- De tratamiento de aguas en la fabricación y procesamiento de explosivos.
- De tratamiento de aguas en las producciones de disulfotón, forato, toxafeno, clordano, zinc, pigmentos amarillos y naranjas de cromo, pigmento amarillo de zinc, pigmentos azules de fierro, pigmentos naranja de molibdato, pigmentos verdes de cromo, óxidos de cromo (anhídros e hidratados).
- De las soluciones de operación de galvanoplastia, así como el tratamiento de sus aguas residuales.
- De oxidación de tratamiento de aguas residuales.
- De sedimento del tratamiento de aguas de los procesos de preservación de madera que utilizan creosota, clorofenol, pentaclorofenol, y arsenicales.
- Residuales conteniendo glicéridos.

#### 12. Residuos:

- Acuoso de catalizador gastado de antimonio en la producción de fluorometano.
- De la corriente del separador del producto en la producción de 1,1,1-tricloroetano.
- De cribado del drenaje en proceso de curtiduría en las siguientes subcategorías: pulpado de pelo retenido, acabado húmedo, preparación de pieles para teñido deslanado.
- Residuos en la fabricación de: computadoras, fibra de vidrio moldeado, cinescopios de televisión, tubos electrónicos, contestadores telefónicos, semiconductores, capacitores de cerámica, cintas magnéticas, cabezas magnéticas para grabadoras, microfilmes, circuitos impresos en madera, pulpa química, látex, anhídrido maleico, acero.
- Del centrifugado en la producción de diisocianato de tolueno.
- De filtración del ácido dietilfosfórico en la producción de forato.
- De los procesos de flotación selectiva en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales.
- En la protección del aluminio de las aeronaves.
- De la polarización, de los procesos de calcinación y de los procesos de la molienda de cerámica piezoeléctrica.
- De la impresión de periódicos y limpieza de equipos.
- De fotoacabado.
- En el plateado de perchas.
- De retrograbados e impresión por placa.
- De pintura removida de muebles.
- De bifenilos policlorados o de cualquier otro material que los contenga.
- Todos los clorados en procesos de cloración.
- Los fondos de los tanques de distribución de gasolinas conteniendo tetraetilo de plomo.
- Ácidos en el procesamiento de películas.

#### 13. Sales:

- Generadas en la producción de las mismas y ácido cacodílico.

#### 14. Sedimentos:

- De la corriente del separador de agua residual en la producción de acrilonitrilo, así como de la columna de purificación de la misma producción.
- De la destilación de cloruro de bencilo
- De la destilación de la producción de nitrobenceno por nitración de benceno.
- De la destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De la destilación para la recuperación de tolueno en la producción de disulfotón.

#### 15. Sólidos:

- De la filtración de hexaclorociclopentadieno en la producción de clordano
- provenientes de embalses de fundidoras de plomo



16. *Tierras:*

- De blanqueo de aceite o grasas.
- Con catalizadores de níquel.

17. *Otros:*

- Licor de tratamiento del acero inoxidable
- Mezclas de residuos de plaguicidas
- Plaguicidas caducos
- Sub-productos de la fabricación de plásticos
- Grasa y aceites usados
- Lodos aceitosos de los procesos de refinación del petróleo crudo
- Materiales que contengan bifenilos policlorados en concentración mayor a 50 ppm
- Materiales que contengan residuos de dibenzodioxinas o dibenzofuranos
- Asbesto residual
- Lodos de las perforaciones de exploración.

Los listados a que se refiere esta norma, se actualizarán con una periodicidad bienal o en cualquier tiempo, si ello fuera necesario.

***Clasificaciones de E.U.A. acerca de los residuos peligrosos.***

Para que en E.U.A. se catalogue a un residuo como peligroso, debe ocurrir una de dos cosas:

1. Se realiza una prueba de laboratorio en donde se verifica si el residuo exhibe una de las características nombradas que lo hacen peligroso, por ejemplo toxicidad, inflamabilidad, reactividad, corrosividad, etc.
2. Si el residuo se encuentra en una lista condensada por el gobierno ya sea porque el residuo es ya conocido o se sospeche peligroso por poseer un potencial para exhibir las características ya mencionadas.

## **Clasificación de acuerdo al Código de Reglamentos Generales:**

En el Código de Reglamentos Federales (CFR) se encuentran clasificados en<sup>2</sup> :

- Explosivos
- Inflamables y Combustibles.
- Venenosos.
- Materiales Radioactivos.
- Materiales Corrosivos.
- Oxidantes y Peróxidos orgánicos.
- Agentes irritantes y Etiológicos.
- Asfixiantes.

## **Clasificación Técnica de residuos peligrosos.**

Otra alternativa para el sistema de clasificación reglamentaria es agruparlos de acuerdo a la siguiente jerarquía:

1. Por su forma (líquido o sólido)
2. De tipo orgánico o inorgánico
3. Por su clase química (solventes o metales pesados)
4. Como afectan en su tratamiento los constituyentes peligrosos.

Este sistema es simple y muy efectivo para propósitos de ingeniería, por ejemplo, agrupando los residuos que tengan características químicas y físicas similares y requieran de un tratamiento general. En el siguiente cuadro se muestra las clases básicas de un sistema *expandible*, basado en estudios muy extensos para definir la necesidad de como tratar a un nuevo residuo peligroso. Es necesario hacer hincapié en que este sistema de clasificación puede extenderse tanto como se requiera.

---

<sup>2</sup> WENTZ, Charles A. *Hazardous Waste Management*, Chemical Engineering Series. Mc Graw Hill Publishing Company, New York, 1989. pp. 55-87.

**Sistema de clasificación técnica para residuos peligrosos**

<b>Categoría</b>	<b>Características</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>residuos acuosos inorgánicos</b>	residuos líquidos compuestos principalmente de agua pero que contienen ácidos/álcalis o soluc. concentradas de sustancias inorgánicas peligrosas	En la industria del galvanizado tenemos ác. sulfúrico agotado y baños de sosa cáustica agotados para la terminación del metal. Concentrados agotados de la hidrometalurgia.
<b>residuos orgánicos acuosos</b>	residuos líquidos compuestos principalmente de agua pero que contienen mezclas o diluciones de sustancias orgánicas peligrosas.	Lavados de reactores químicos. agua de enjuague de recipientes que contienen pesticidas
<b>líquidos orgánicos</b>	residuos líquidos que contienen mezclas o soluciones concentradas de compuestos orgánicos peligrosos.	El lavado en seco ó quitar la grasa de metales genera solventes halogenados agotados. Residuos de destilaciones en la producción de intermediarios químicos
<b>Aceites</b>	residuos líquidos consistentes de aceites derivados del petróleo.	Aceites lubricantes agotados, aceite combustible contaminado, aceites de corte en la fabricación de maquinaria
<b>lodos/sólidos inorgánicos</b>	lodos, polvos, sólidos y otros residuos no-líquidos que contienen sustancias inorgánicas peligrosas	Polvos de cromo en la industria del metal. Control de emisiones de polvo en la fabricación del acero. lodos de los tratamientos de aguas residuales
<b>lodos/sólidos orgánicos</b>	alquitrán, lodos, sólidos, y otros residuos no-líquidos que contienen sustancias orgánicas peligrosas.	Lodos en operaciones de pintura. Las tortas en operaciones de filtrado, en la industria farmacéutica. Suelo contaminado con solventes derramados

**Clasificación de la Organización de las Naciones Unidas:**

La Organización de las Naciones Unidas tiene otra clasificación, cuyo reconocimiento es internacional. El contenedor de cada residuo debe portar una placa de identificación señalando la clase a la que pertenece el residuo :

### *Clase 1. Explosivos*

- ◆ Con peligro de explosión de masa.
- ◆ Con peligro de proyección.
- ◆ Con peligro de combustión.
- ◆ Con peligro de explosión.
- ◆ muy insensibles.

### *Clase 2. Gases.*

- ◆ Inflamables
- ◆ no inflamables.
- ◆ venenosos
- ◆ corrosivos.

### *Clase 3. Líquidos inflamables.*

- ◆ Con un punto de inflamación menor a 18 °C
- ◆ Con un punto de inflamación entre 18 °C y 23 °C
- ◆ Con un punto de inflamación entre 23 °C y 61 °C.

### *Clase 4. Sólidos inflamables, materiales combustibles espontáneos y materiales que son peligrosos cuando se humedecen.*

- ◆ Sólidos inflamables.
- ◆ Materiales combustibles espontáneos.
- ◆ Materiales que son peligrosos cuando se humedecen.

### *Clase 5. Oxidantes y peróxidos orgánicos.*

- ◆ Oxidantes.
- ◆ Peróxidos orgánicos.

### *Clase 6. Materiales venenosos y etiológicos.*

- ◆ Materiales venenosos.
- ◆ Materiales Etiológicos.

### *Clase 7. Materiales Radioactivos.*

### *Clase 8. Corrosivos.*

### *Clase 9. Materiales peligrosos diversos.*

Algunas naciones tienen una lista de sustancias químicas específicas o clasificación de las mismas, donde se señala una concentración límite de tales constituyentes, cuando éste límite es excedido, automáticamente se clasifica el residuo como peligroso.

***Clasificación del Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud y el Programa de las Naciones Unidas para el mejoramiento del ambiente.***

Estas organizaciones realizaron un estudio sobre las necesidades especiales y los problemas que presentan los países industrializados para disponer en forma segura de los residuos peligrosos. Este estudio propone una clasificación de los residuos peligrosos en la que se relacionan de manera directa con los diversos giros industriales.

Las reglamentaciones federales en los U.S. especifican 5 listas en las que se agrupan algunas de las sustancias que por lo general se consideran residuos peligrosos. El objetivo de éstas es señalar a los productos químicos como residuos peligrosos cuando se liberan al ambiente, o bien, a aquellas industrias que durante sus procesos de fabricación puedan generarlos. La USEPA identifica a cada una de las sustancias que aparecen en las listas con dos claves especiales:

1. ***"Número de residuo peligroso de la USEPA"***. Su propósito es identificar al residuo en cualquier trámite legal que se requiera durante su manipulación. Aparece a la izquierda del nombre o descripción del residuo.
2. ***"Código de riesgo"***. Indica la característica por la cuál se considera peligroso al residuo. Se encuentra a la derecha del nombre o descripción del residuo. El código a utilizar puede ser:
  - **I** Residuo Inflamable
  - **C** Residuo Corrosivo
  - **R** Residuo Reactivo
  - **E** Residuo de Toxicidad característica
  - **H** Residuo de peligro Crítico
  - **T** Residuo Tóxico

Se debe de aclarar que en cuanto al código de riesgo, un residuo puede llevar una ó más letras que indiquen su peligro a la salud o al medio ambiente.

Las cinco listas mencionadas anteriormente son:

### 1. *Residuos peligrosos de fuentes no específicas.*

Considera a los residuos generados de procesos industriales, que se originen a partir del empleo de solventes, desgrasado, electroplatinado, del tratamiento térmico y ciertos residuos contaminados con dioxinas que se formaron durante la elaboración de productos químicos. Ejemplo de ellos pueden ser los solventes halogenados y no halogenados, como tetracloruro de carbono y tolueno, lodos provenientes de operaciones de electroplatinado, etc.

### 2. *Residuos peligrosos de fuentes específicas.*

En esta lista se identifica primero el giro industrial y después el residuo sólido con la descripción que se presenta en cada uno de los residuos producidos con esa categoría industrial. En caso de que coincida con alguna de las descripciones, se le considera un residuo peligroso listado. Si por alguna razón esta coincidencia no se da, entonces la lista resulta inaplicable. Ejemplos: lodos del tratamiento de agua residual de la producción de pigmentos inorgánicos (pigmentos verdes de cromo), productos químicos orgánicos (fondos de la destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno), plaguicidas (lodos del tratamiento de agua residual provenientes de la producción de clordano), etc.

### 3. *Residuos de Peligro Crítico.*

Son los residuos que se conoce son fatales para los humanos en pequeñas dosis o, que en ausencia de datos sobre toxicidad humana, se ha demostrado por medio de estudios que tienen una toxicidad oral  $Ld_{50}$  (en ratas) de menos de 50 mg/Kg., una toxicidad de inhalación de menos de 2mg/L ó una toxicidad dérmica de menos de 200 mg/Kg.; o que por otro lado es capaz de causar o contribuir de manera importante a un incremento de enfermedades irreversibles o de incapacidad reversibles. Ejemplos: bromoacetona, trióxido de arsénico, aldrin, etc.

### 4. *Residuos Tóxicos.*

Son los residuos que contienen alguno de los constituyentes tóxicos listados en el apéndice VIII de la parte 261, título 40 del código de Reglamentos Federales (CFR), a menos que el administrador concluya que el residuo no es capaz de poner en peligro a la salud humana o al ambiente, cuando en forma inadecuada se trata, almacena, transporta, se dispone o se maneja de alguna otra forma no indicada. Ejemplos: xileno, DDT, tetracloruro de carbono, fenol, etc.

### 5. *Constituyentes Peligrosos.*

Un residuo que contenga alguna de las sustancias que aparecen en esta lista, se considera peligroso. Son residuos característicos que exhiben propiedades de inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad. Ejemplos: cloroformo, dinitrofenol, hexacloroetano, fosgeno, etc.

Cabe aclarar que a los residuos que aparecen en alguna de las listas anteriores se les conoce como **residuos listados**, a diferencia de aquellos que se consideran peligrosos debido a sus características, a los cuales se les conoce como **residuos característicos**.

En las dos últimas listas se incluyen como residuos peligrosos a los productos químicos comerciales, intermediarios químicos y especies fuera de especificación, siempre y cuando se descarguen o intenten ser descargados aplicándose a superficies de caminos o suelos, en lugar de darles el uso que se tenía pensado originalmente, o bien que se empleen como combustibles. La frase "intenten ser descargados" incluye la acumulación, almacenamiento, o disposición.

La siguiente tabla presenta un resumen de éstas listas y sus principales características:

<b>Nombre de la lista</b>	<b>Letra que identifica la lista</b>	<b>Código de Riesgo</b>
<b>Residuos peligrosos de fuentes no específicas</b>	F	T, R, I, H
<b>Residuos Peligrosos de fuentes específicas</b>	K	T, R, C, I
<b>Residuos de peligro Crítico.</b>	P	R, T
<b>Residuos Tóxicos</b>	U	C, R, T, I, E
<b>Constituyentes peligrosos</b>	U, P	-

Para terminar este capítulo, se quisiera mencionar la diferencia que existe entre los sistemas legales de E.U.A. y México.

### ***Diferencia entre los sistemas legales de Estados Unidos y México.***

Si se quiere tomar como marco de referencia la legislación de sustancias tóxicas en los Estados Unidos, es preciso considerar que las leyes, reglamentos y normas, establecidas en ese país difieren de las de México ya que es diferente el sistema legal aún cuando persigan el mismo objetivo.

Así, mientras que los **E.U.** tienen como marco el **Derecho Común**, en **México** tiene como respaldo el **Derecho Civil**, lo cual significa que en el primer caso el incumplimiento de la Ley conduce a una litigación, mientras que en el segundo se reduce a un procedimiento administrativo. Es decir, la participación del Sistema Judicial en los E.U. es más activa que en México.

Lo anterior no es nada trivial, ya que las mismas normas con un mecanismo distinto para hacerlas cumplir conducen frecuentemente a resultados distintos en cuanto a su observación.

En Estados Unidos, la afectación de bienes, de la salud o el ambiente, como resultado de procesos de producción contaminantes, de descuidos irresponsables en el manejo de productos químicos o accidentes, llevan a juicios y pago de indemnizaciones muy elevadas, lo que orilla a la autovigilancia y cumplimiento de la Ley. Esto no ocurre de la misma manera en México ya que el monto de las sanciones no permite reparar los daños de prácticas irresponsables o de accidentes, por lo que se requiere tener estas diferencias presentes al adoptar esquemas regulatorios con sustentos legales distintos.



**PAGINACION VARIA**

**COMPLETA LA INFORMACION**

**GENERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS.**

***Definición de residuo peligroso.***

El término residuo peligroso comenzó a aceptarse desde 1970, pero únicamente se usaba como sinónimo de residuo industrial especial ó residuo químico.

**En México**, en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente, se definen **los residuos peligrosos** como todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. Todas estas características son identificadas como propiedades **CRETIB** de los residuos considerados de riesgo.

Uno de los países que más contribuyen a la generación y comercio internacional de productos químicos y con el cual México tiene un activo intercambio comercial es Estados Unidos de América. Así que de manera comparativa, en E.U.A., la Agencia de Protección Ambiental, conocida como USEPA ó simplemente **EPA**, es la encargada de expedir las leyes que gobiernan el manejo de los residuos peligrosos desde la generación hasta su disposición final. A ella le llevó casi 4 años promulgar las primeras leyes de residuos peligrosos hasta que en 1976 se define el término:

*Los residuos peligrosos son materiales sólidos, líquidos, gases, lodos u otros que pueden ser radiactivos o infecciosos y por razón de su actividad química pueden ser tóxicos, explosivos, corrosivos, u otras características, que causen peligro o daño a la salud o al medio ambiente. Estos residuos pueden estar solos o en contacto con otros residuos.*

Después de algunos estudios y una serie de modificaciones, se presenta una definición más clara, extensa y rigurosa:

Un residuo se considera peligroso sí<sup>1</sup>:

⇒ No está incluido en las excepciones que establece la legislación del Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos ( the Resource Conservation and Recovery Act, RCRA):

- Desagüe doméstico.
- Retorno de los flujos de irrigación.
- Residuo nuclear.
- Residuo doméstico.
- Residuos generados por el cultivo de cosechas y la crianza de ganado (estiércol), los cuales regresan al terreno en forma de fertilizantes.
- Sobrecarga de la minería que se regresa a la mina.
- Ceniza muy fina, ceniza de fondo, residuo que sea escoria de metales y proveniente de los sistemas de control de las emisiones de las chimeneas de gas, cuando se utiliza carbón de piedra u otros combustibles fósiles.
- Residuos asociados con la exploración, desarrollo o producción de petróleo crudo, gas natural, o energía geotérmica, como son los fluidos de perforación y los residuos que contienen petróleo.

⇒ Exhibe alguna de las características de los residuos peligrosos en términos de inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad.

⇒ Contiene cualquiera de los elementos que aparecen en la lista de constituyentes peligrosos que elaboró la USEPA - título 40 del código de Reglamentos Federales (Code of Federal Regulations, CFR), Apéndice VII - a menos que con base en una consideración posterior de cualquiera de los factores que se presentan a continuación, se considere que el residuo no es capaz de manifestar algún posible peligro para la salud humana o para el ambiente, cuando se trata, almacena, transporta o deposita en forma incorrecta o cuando se maneja de cualquier otra forma no determinada. Estos factores son:

- La naturaleza de la toxicidad que presenta.
- La concentración en el residuo.
- La posibilidad de que el compuesto una vez degradado (o cualquier compuesto tóxico que resulte de ello), emigre hasta la atmósfera como consecuencia de un manejo incorrecto.
- La persistencia del constituyente o la de cualquier producto tóxico derivado de su degradación.
- La capacidad del componente ( o de cualquier otro producto tóxico producido por su descomposición), para degradarse en compuestos no perjudiciales y el grado en el que se puede efectuar dicha degradación.
- La proporción en la que el componente o cualquier otro producto de la degradación se bioacumule en los ecosistemas.

---

<sup>1</sup> COPE, C.B., Fuller, W.H., Willetts, S.L. *The Scientific Management of Hazardous Waste*, Cambridge University Press, Massachusetts. 1983.pp.1, 9-15.

- Las diferentes clases de manejo inadecuadas a las que se puede someter el residuo.
- Las cantidades generadas de este residuo a nivel regional o nacional.
- La naturaleza y severidad del daño a la salud humana y al ambiente, que ha ocurrido como resultado de una manipulación inadecuada de los residuos.
- Las acciones realizadas por otras agencias gubernamentales en respuesta a las situaciones de peligro (para la salud o el ambiente) originadas por el residuo o sus componentes.
- Otros factores que se consideren apropiados.
- Los residuos tóxicos y los que presentan un peligro crítico se encuentran incluidos en las listas de la USEPA (título 40 del código de reglamentos federales, partes 261.31 - 261.33(f)), en las cuales también se identifica a los residuos peligrosos provenientes de fuentes específicas y no específicas. Las sustancias que aparecen en dichas listas, se han incluido porque producen efectos tóxicos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos en el ser humano y en otras formas de vida.

Para poder presentar adecuadamente la clasificación de residuos peligrosos, es necesario presentar primero las características que los hacen peligrosos.

### ***Características que hacen a un residuo peligroso.***

En **México**, la Norma Técnica Ecológica **NTE-CRP-001/88**, establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos. Esta Norma es de orden público e interés social, así como de observancia obligatoria cuando se generen residuos a fin de identificar aquellos que sean peligrosos.

Para la determinación de los residuos peligrosos, se consideran los siguientes criterios dentro de la Norma:

#### ***I. Corrosividad.***

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

- En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5
- En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón, a una velocidad de 6.35 milímetros por año y una temperatura de 55°C.

#### ***II. Toxicidad al ambiente.***

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando:

- Al hacer la prueba de extracción de toxicidad conforme a la NTE-CRP-002/88, aparezcan uno o más de los constituyentes que a continuación se mencionan, y al efectuar los métodos de análisis previstos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes presenten concentraciones iguales o mayores a los límites señalados en el listado del siguiente cuadro:

**Constituyentes que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente.**

Constituyentes:	Conc. máx. permitida (mg/l)	Constituyentes:	Conc. máx. permitida (mg/l)	Constituyentes:	Conc. máx. permitida (mg/l)
<b>Acrlonitrilo</b>	5.000	2,4-D	1.400	Mercurio	0.200
<b>Bario</b>	100.000	1,4-Diclorobenceno	10.800	Metoxicloro	7.200
<b>Benceno</b>	0.070	1,2-Dicloroetano	0.400	Nitrobenceno	1.400
<b>Bis-(2-cloroetil) éter</b>	0.050	1,1-Dicloroetileno	0.100	Pentaclorofenol	0.130
<b>Cadmio</b>	1.000	2,4-Dinitrotolueno	0.130	Piridina	3.600
<b>Clordano</b>	0.030	Disulfuro de carbono	14.400	Plata	5.000
<b>Clorobenceno</b>	1.400	Endrín	0.003	Plomo	5.000
<b>Cloroformo</b>	0.070	Fenol	14.400	Selenio	5.000
<b>Cloruro de metileno</b>	8.600	Heptacloro (y su epóxido)	0.001	1.1.1.2 Tetracloroetano	1.000
<b>Cloruro de vinilo</b>	0.050	Hexaclorobenceno	0.130	1.1.2.2 Tetracloroetano	10.000
<b>m-cresol</b>	10.000	Hexaclorobutadieno	0.720	2.3.4.6-Tetraclorofenol	1.300
<b>o-cresol</b>	10.000	Hexacloroetano	4.300	Tetracloruro de carbono	1.500
<b>p-cresol</b>	10.000	Isobutanol	36.000	Tolueno	0.070
<b>Cromo</b>	5.000	Lindano	0.060	Toxafeno	14.400

### **III. Reactividad.**

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

- Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- Es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.
- Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.

- Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas pueden generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyan un riesgo para el ambiente.
- Es capaz de producir radicales libres.

#### **IV. Explosividad.**

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

- Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno.
- Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a una atm de presión (1.033 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### **V. Inflamabilidad.**

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa contiene más del 24% de alcohol en volumen.
- Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- No es líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.
- Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

Para la determinación de las características a que se refiere esta norma, se deberán llevar a cabo las pruebas y análisis previstos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes.

### **Características en E.U.A.**

Nuevamente, de manera comparativa en los E.U.A. la EPA definió las siguientes características con las que se identifica a un residuo como peligroso:

#### **I. Inflamabilidad.**

Es la característica que se utiliza para definir la peligrosidad de aquellos residuos que pueden causar fuego durante su transporte, almacenamiento o disposición. Los aceites y solventes gastados, son ejemplos de ésta clase de residuos. Se les asigna el código de peligro "I" y presentan al menos una de las siguientes propiedades:

- Que sea un líquido con punto de inflamación menor a 60°C. Una solución acuosa que contenga menos del 20% de alcohol en volumen se excluye de esta definición, por que no puede mantener la combustión.

- Que sea una sustancia no-líquida, capaz de originar fuego por fricción, por absorción de humedad o por cambios químicos espontáneos, bajo condiciones de temperatura y presión normales. Cuando ésta sustancia arde, lo hace en forma vigorosa y persistente constituyendo un peligro.
- Que sea un gas comprimido inflamable.
- Que sea un oxidante.

A un residuo inflamable la EPA le asigna un código de residuo **"D001"**.

## **II. Corrosividad.**

La corrosividad, que se indica por medio del pH, se escogió como una característica de identificación de residuos peligrosos, por que se pueden efectuar reacciones entre los mismos residuos, cuando presentan un pH elevado o bajo. Se caracterizan por tener la capacidad de deteriorar contenedores normales, dañar el tejido humano, y/o disolver los componentes tóxicos de otros residuos. Los residuos ácidos y los de salmueras son ejemplos de éstos residuos peligrosos. Tienen el código de peligro **"C"** y exhiben alguna o ambas de las siguientes propiedades:

- Que esté en solución acuosa con un pH menor o igual a 2 ó mayor que 12.5.
- Que esté en estado líquido y sea capaz de corroer el acero al carbón a una velocidad mayor que 0.6350 cm/año y a una temperatura de 55°C.

A los residuos corrosivos la EPA los identifica con el código de residuo peligroso **"D002"**.

## **III. Reactividad.**

Un residuo reactivo tiene la tendencia a volverse químicamente inestable bajo condiciones normales de manejo y a reaccionar violentamente cuando se expone al aire o se mezcla con agua; o bien puede generar gases tóxicos. Los solventes de cianuro gastados son un ejemplo de esta clase de residuos. Su código de peligro es **"R"** y manifiestan alguna de las siguientes propiedades:

- Es una sustancia normalmente inestable y experimenta cambios físicos o químicos violentos sin detonar.
- Reacciona violentamente con el agua.
- Forma una mezcla potencialmente explosiva cuando se humedece con agua.

- Genera gases, vapores o humos perjudiciales cuando se mezcla con agua, en cantidad suficiente como para poner en peligro al ambiente y consecuentemente a la salud humana.
- Es un residuo que presenta cianuros y sulfuros, el cual cuando se expone a condiciones de pH extremo, puede generar gases, vapores o humos tóxicos suficientes como para poner en peligro al ambiente y consecuentemente a la salud humana.
- Es una sustancia que tiene la capacidad de detonar rápidamente a temperatura y presión normales.
- Es un explosivo que aparece en la lista clase A, clase B o que es de uso restringido de acuerdo a la especificación que aparece en el título 49 del CFR (Código de Reglamentos Federales), parte 173.511.

A un residuo reactivo la EPA le asigna un código de residuo peligroso "D003".

#### ***IV. Toxicidad.***

La capacidad inherente de un agente químico por producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos se denomina Toxicidad. Su código de peligro es "E".

La EPA utiliza dos tipos de pruebas para determinar si un residuo es peligroso o no, las pruebas son EP (the Extraction Procedure) y la TCLP ( the Toxicity Characteristic Leaching Procedure). En base a estas pruebas el residuo que es clasificado como tóxico se le asigna el número de residuo peligroso correspondiente al número de contaminante que le da dicho carácter.

#### ***Diferencia entre ambas definiciones.***

La principal diferencia que cabe mencionar se encuentra en la definición hecha en E.U., donde se asigna un código de riesgo para cada una de las características que hacen peligroso al residuo, esto se convierte en una gran ventaja pues es muy fácil identificar a los residuos durante su manejo, transportación y disposición, de otra manera sucede que un individuo debe tener toda la información a disposición inmediata para saber que tipo de residuo se esta manipulando.

Las demás diferencias consisten únicamente en definiciones más claras y concisas, de estas características, por parte de E.U.A.



## **Generación de residuos peligrosos.**

Los residuos peligrosos son originados dentro de un intervalo muy amplio de actividades de tipo industrial, comercial, agrícola, o actividades domésticas. Son generados por fabricantes de productos de uso diario, por fabricantes de artículos especiales, por servicios de universidades, hospitales, entre otros.

Virtualmente todas las operaciones de producción generan residuos, sencillamente por que no todos los materiales de entrada al proceso pueden convertirse en productos o servicios. Dependiendo de muchos factores, entre ellos el económico, estos sub-productos o "by-products" pueden convertirse en desechos.

Después de que el residuo ha sido generado, éste puede ser manejado dentro del mismo lugar ó transportado a otro sitio para su tratamiento, disposición o reciclado del mismo. A los primeros residuos se les llama **residuos en sitio** (on-site waste) y a los segundos **residuos fuera de sitio** (off-site waste). Los segundos requieren cumplir con los reglamentos para su manejo y transportación hasta llegar al destino.

La producción de un residuo puede resultar de muchas diferentes fuentes:

- **Materiales agotados.** Un material de entrada que ha sido utilizado puede que ya no sea útil sin que se le proporcione un reprocesamiento.
- **Sub-productos (by-products).** Son los materiales generados en un proceso específico y ya no tiene uso en la forma en que ha sido generado, sin un procesamiento adicional.
- **Tratamientos.** Son por ejemplo los lodos que resultan del tratamiento de aguas residuales, de controlar emisiones al aire, o por tratamiento y recuperación de otros desechos peligrosos.
- **Productos químicos comerciales.** Un producto actual puede convertirse en un residuo por una de muchas razones numerosas:
  - ◆ limpieza de equipos de proceso.
  - ◆ fallas encontradas en las especificaciones de fabricación.
  - ◆ derrames accidentales ó goteras de otra corriente de proceso.
  - ◆ residuos por los recipientes usados por una corriente de material o producto.
  - ◆ caducidad del producto.

La generación de residuos está íntimamente relacionada con la actividad industrial y el nivel de producción. De aquí que la siguiente lista es la primera

clasificación de residuos peligrosos de acuerdo a su fuente de generación o giro industrial.

## **Clasificación de los residuos peligrosos.**

### **I. Residuos Inorgánicos.**

- *Ácidos y álcalis.* Se encuentran entre los principales componentes de los residuos peligrosos generados en la industria. Sin embargo, en términos de cantidad, se puede decir que en su mayoría los residuos ácidos provienen de la preparación de superficies y del acabado de metales. El principal peligro con los ácidos y los álcalis es su acción corrosiva, complicada en algunos casos por la presencia de constituyentes tóxicos.

- *Residuos de Cianuro.* Se generan en primer lugar en la industria del acabado de metales y en el tratamiento térmico de algunos aceros. El peligro fundamental es su toxicidad crítica.

- *Soluciones y lodos que contienen metales pesados.* Los de mayor importancia son aquellos que contienen metales tóxicos como el arsénico, cadmio, cromo hexavalente, plomo, mercurio, níquel, zinc y cobre. Estos residuos se generan en una multitud de procesos, principalmente en la producción de cloro, producción de pigmentos, preservación de la madera, producción de baterías, textiles, revestimiento de metales y curtiduría.

- *Residuos de asbestos.* Normalmente se producen de los residuos de cascajo, estaciones de potencia, plantas de manufactura industrial, fábricas de gas, arsenales, establecimientos de educación y hospitales. También se pueden generar de la construcción y demolición de lugares. Los peligros a la salud debido a la inhalación de fibras de asbestos y polvo, se asocian con la potencialidad carcinogénica del material. Los tubos y láminas de asbestos constituyen un problema menor que las fibras o el polvo libre.

- *Otros residuos sólidos.* Se generan en una variedad de fuentes de las cuales las más importantes son la fundición y la refinación de metales. Los polvos y lodos generados en estos procesos contienen por lo general metales tóxicos como el níquel, arsénico, zinc, mercurio, cadmio y plomo.

### **II. Residuos Aceitosos.**

Se originan principalmente del procesamiento, empleo y almacenamiento de aceites minerales. Entre estos se encuentran los residuos de los fluidos hidráulicos y de lubricación, lodos del fondo de los tanques de almacenamiento de aceites. En algunos casos, estos materiales se pueden contaminar con metales tóxicos como lodos de almacenamiento de gasolina con plomo.

### **III. Residuos Orgánicos.**

- *Solventes halogenados gastados.* Surgen principalmente de las operaciones de lavado en seco, de la limpieza de metales en la industria y en mucha menor cantidad, en procesos de la industria textil y del cuero. Los peligros asociados con estos residuos son el resultado de su toxicidad, movilidad y relativamente alta persistencia en el ambiente.

- *Residuos de Solventes no halogenados.* Incluye un gran número de hidrocarburos e hidrocarburos oxigenados, algunos de los más comúnmente empleados son el tolueno, etanol y metanol. Encuentran gran aplicación en la producción de pinturas, tintas, adhesivos, resinas, preservativos para la madera a base de solventes, saborizantes de alimentos, cosméticos y como adelgazantes. También se utilizan como desengrasantes en la industria de la ingeniería y en la de manufactura de automóviles y se emplean para la extracción de productos naturales a partir de fuentes animales y vegetales. La toxicidad de estos materiales es muy variada y en muchos casos el peligro que presentan es su inflamabilidad.

- *Residuos de policloruro de bifenilo (PCB's).* Se generan de la fabricación de PCB's y de los equipos en que éstos se emplean, principalmente como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores, y también como fluidos hidráulicos y de transferencia de calor. La peligrosidad que presentan estos residuos es su alta persistencia y su capacidad de bioacumulación.

- *Residuos de resinas y pinturas.* Se producen de una variedad de formulaciones y de otros procesos químicos terciarios, y también en la aplicación de pinturas y resinas a los productos terminados. Generalmente son combinaciones de solventes y materiales poliméricos incluyendo, en algunos casos, metales tóxicos.

- *Residuos de biocidas.* Se originan en la fabricación y formulación de biocidas y en el empleo de estos compuestos en la agricultura, horticultura y en otras industrias.

- *Residuos de productos químicos orgánicos.* Los residuos orgánicos también se generan a partir de la carbonización de la hulla; de las operaciones de subproductos; de la fabricación de productos químicos primarios, secundarios y terciarios. Generalmente estas corrientes residuales contienen otros residuos de la destilación y la filtración así como productos químicos halogenados y no-halogenados. Se generan en las operaciones de una gran diversidad de giros industriales: la refinación del petróleo, la manufactura de productos químicos, materias primas para tintes, productos farmacéuticos, plásticos, hule y resinas.

- *Residuos orgánicos putrescibles.* Considera a los residuos provenientes de la producción de aceites comestibles, también incluye a los residuos generados en rastros, curtidurías y en la elaboración de otros productos a base de animales. Para los países desarrollados resulta de gran importancia que se realice un manejo adecuado de los residuos putrescibles, ya que las condiciones climáticas extremas pueden aumentar los posibles peligros asociados a la salud con estos residuos orgánicos.

- *Residuos de gran volumen / poco peligro.* Se incluye a aquellos residuos, que basados en sus propiedades intrínsecas, presentan relativamente poco peligro, pero originan problemas debido a su gran volumen. Algunos ejemplos son: lodo de la extracción

del petróleo y del gas, ceniza muy fina del combustible fósil quemado en plantas de potencia, residuos de la minería o escoria de metales.

- *Residuos diversos*. Además de las categorías anteriores, existen diversos residuos que no se han incluido: residuos infecciosos asociados a enfermedades con los animales o el ser humano, productos químicos deteriorados o que excedieron su tiempo de vida de anaquel, y provienen de tiendas que venden al menudeo, almacenes comerciales, almacenes industriales y gubernamentales; residuos de laboratorios de investigación, residuos explosivos de las operaciones de fabricación de municiones o su excedente. Aún cuando estos tipos de residuos no representan una gran parte de la generación total de residuos peligrosos, se deben tomar las provisiones necesarias y especiales para garantizar su disposición adecuada y segura.

### ***Residuos peligrosos según la Norma NTE-CRP-001/88, de México.***

Para efectos de ésta Norma se consideran peligrosos los siguientes residuos:

#### **1. Aguas:**

- De biodegradación de lodos, conteniendo cargas orgánicas o metales pesados contaminantes.
- Fuentes de vidrio
- De tormenta sin lodo
- Residuales de raspado y lavado en la producción de forato

#### **2. Breas:**

- Del fondo de la destilación de la producción de fenol-acetona a partir de cumeno.

#### **3. Bases:**

- Fijas de dimetil sulfato

#### **4. Cabezas:**

- De destilación de la producción combinada de tricloroetileno y percloroetileno.
- De destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De destilación de la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno.

#### **5. Carbón Activado:**

- Conteniendo sustancias peligrosas absorbidas, según los criterios de la misma norma.

#### **6. Catalizador:**

- Gastado del reactor hidroclorador en la producción de 1,1,1-tricloroetano.
- Gastado de antimonio en la producción de fluorometano.
- Gastado de cloruro de mercurio.

#### **7. Colas:**

- De la producción combinada de tricloroetileno y percloroetileno.
- De la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De la fracción en la producción de cloruro de etileno
- De la destilación de cloruro de vinilo en la producción de monómeros de cloruro de vinilo
- De destilación de dicloruro de etileno durante la producción de dicloruro de etileno.
- De destilación de la producción de tetracloruro de carbono.
- De destilación de tetraclorobenceno en la producción de 2,4,5-T

- De la columna de purificación en la producción de epiclohidrina.
- De raspado en la producción de metiletilpiridina.

#### 8. *Disolventes:*

- De limpieza en partes mecánicas
- De laminación mecánica en circuitos electrónicos
- Gastados halogenados en otras operaciones que no sea el desengrasado: Tetracloroetileno, cloruro de metileno, tricloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, trifluoroetano, o-diclorobenceno, triclorofluorometano.
- Gastados no halogenados: cresoles, ácido cresílico, nitrobenzono, metanol, tolueno, metil-etil-cetona, disulfuro de carbono, isobutanol, piridina, xileno, acetona, acetato de etilo, etil-benceno, éter etílico, alcohol n-butílico, ciclohexanona.
- Gastados halogenados usados en el desengrasado: Tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, fluoruros de carbono clorados.

#### 9. *Envases:*

- Envases vacíos que hubieran contenido cualquier tipo de plaguicidas.
- Envases y tambos vacíos usados para el manejo de residuos químicos peligrosos ambientales.

#### 10. *Jales:*

- De los procesos de concentración de metales pesados.

#### 11. *Lodos:*

- De baño de aceite en el templado y tratamiento de calor de metales.
- Del ánodo electrolítico en la producción primaria de cinc.
- De equipos de control de emisión de gases, humos y polvos.
- De lavadores de efluentes gaseosos de hornos de carbón y altos hornos.
- De operaciones de coquizado.
- De operaciones primarias en la producción de cobre.
- De oxidación de tratamiento biológico que contenga cualquier sustancia tóxica sujeta a control sanitario o ecológico.
- De tratamiento de aguas de residuos de templado en las operaciones de tratamiento de calor de metales.
- De tratamiento de aguas en la producción de creosota.
- De tratamiento de aguas en la fabricación y procesamiento de explosivos.
- De tratamiento de aguas en las producciones de disulfotón, forato, toxafeno, clordano, zinc, pigmentos amarillos y naranjas de cromo, pigmento amarillo de zinc, pigmentos azules de fierro, pigmentos naranja de molibdato, pigmentos verdes de cromo, óxidos de cromo (anhídros e hidratados).
- De las soluciones de operación de galvanoplastia, así como el tratamiento de sus aguas residuales.
- De oxidación de tratamiento de aguas residuales.
- De sedimento del tratamiento de aguas de los procesos de preservación de madera que utilizan creosota, clorofenol, pentaclorofenol, y arsenicales.
- Residuales conteniendo glicéridos.

#### 12. *Residuos:*

- Acuoso de catalizador gastado de antimonio en la producción de fluorometano.
- De la corriente del separador del producto en la producción de 1,1,1-tricloroetano.
- De cribado del drenaje en proceso de curtiduría en las siguientes subcategorías: pulpado de pelo retenido, acabado húmedo, preparación de pieles para teñido deslanado.
- Residuos en la fabricación de: computadoras, fibra de vidrio moldeado, cinescopios de televisión, tubos electrónicos, contestadores telefónicos, semiconductores, capacitores de cerámica, cintas magnéticas, cabezas magnéticas para grabadoras, microfilmes, circuitos impresos en madera, pulpa química, látex, anhídrido maleico, acero.

- Del centrifugado en la producción de diisocianato de tolueno.
- De filtración del ácido dietilfosfórico en la producción de forato.
- De los procesos de flotación selectiva en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales.
- En la protección del aluminio de las aeronaves.
- De la polarización, de los procesos de calcinación y de los procesos de la molienda de cerámica piezoeléctrica.
- De la impresión de periódicos y limpieza de equipos.
- De fotoacabado.
- En el plateado de perchas.
- De retrograbados e impresión por placa.
- De pintura removida de muebles.
- De bifenilos policlorados o de cualquier otro material que los contenga.
- Todos los clorados en procesos de cloración.
- Los fondos de los tanques de distribución de gasolinas conteniendo tetraetilo de plomo.
- Ácidos en el procesamiento de películas.

### 13. Sales:

- Generadas en la producción de las mismas y ácido cacodílico.

### 14. Sedimentos:

- De la corriente del separador de agua residual en la producción de acrilonitrilo, así como de la columna de purificación de la misma producción.
- De la destilación de cloruro de bencilo
- De la destilación de la producción de nitrobenceno por nitración de benceno.
- De la destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- De la destilación para la recuperación de tolueno en la producción de disulfotón.

### 15. Sólidos:

- De la filtración de hexaclorociclopentadieno en la producción de clordano
- provenientes de embalses de fundidoras de plomo

### 16. Tierras:

- De blanqueo de aceite o grasas.
- Con catalizadores de níquel.

### 17. Otros:

- Licor de tratamiento del acero inoxidable
- Mezclas de residuos de plaguicidas
- Plaguicidas caducos
- Sub-productos de la fabricación de plásticos
- Grasa y aceites usados
- Lodos aceitosos de los procesos de refinación del petróleo crudo
- Materiales que contengan bifenilos policlorados en concentración mayor a 50 ppm
- Materiales que contengan residuos de dibenzodioxinas o dibenzofuranos
- Asbesto residual
- Lodos de las perforaciones de exploración.

Los listados a que se refiere esta norma, se actualizarán con una periodicidad bienal o en cualquier tiempo, si ello fuera necesario.

### **Clasificaciones de E.U.A. acerca de los residuos peligrosos.**

Para que en E.U.A. se catalogue a un residuo como peligroso, debe ocurrir una de dos cosas:

1. Se realiza una prueba de laboratorio en donde se verifica si el residuo exhibe una de las características nombradas que lo hacen peligroso, por ejemplo toxicidad, inflamabilidad, reactividad, corrosividad, etc.
2. Si el residuo se encuentra en una lista condensada por el gobierno ya sea porque el residuo es ya conocido o se sospeche peligroso por poseer un potencial para exhibir las características ya mencionadas.

### **Clasificación de acuerdo al Código de Reglamentos Generales:**

En el Código de Reglamentos Federales (CFR) se encuentran clasificados en<sup>2</sup> :

- Explosivos
- Inflamables y Combustibles.
- Venenosos.
- Materiales Radioactivos.
- Materiales Corrosivos.
- Oxidantes y Peróxidos orgánicos.
- Agentes irritantes y Etiológicos.
- Asfixiantes.

### **Clasificación Técnica de residuos peligrosos.**

Otra alternativa para el sistema de clasificación reglamentaria es agruparlos de acuerdo a la siguiente jerarquía:

1. Por su forma (líquido o sólido)
2. De tipo orgánico o inorgánico
3. Por su clase química (solventes o metales pesados)
4. Como afectan en su tratamiento los constituyentes peligrosos.

---

<sup>2</sup> WENTZ, Charles A. *Hazardous Waste Management*, Chemical Engineering Series. Mc Graw Hill Publishing Company, New York, 1989. pp. 55-87.

Este sistema es simple y muy efectivo para propósitos de ingeniería, por ejemplo, agrupando los residuos que tengan características químicas y físicas similares y requieran de un tratamiento general. En el siguiente cuadro se muestra las clases básicas de un sistema *expandible*, basado en estudios muy extensos para definir la necesidad de como tratar a un nuevo residuo peligroso. Es necesario hacer hincapié en que este sistema de clasificación puede extenderse tanto como se requiera.

**Sistema de clasificación técnica para residuos peligrosos.**

<b>Categoría</b>	<b>Características</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>residuos acuosos inorgánicos</b>	residuos líquidos compuestos primariamente de agua pero que contienen ácidos/álcalis o soluc. concentradas de sustancias inorgánicas peligrosas	En la industria del galvanizado tenemos ác. sulfúrico agotado y baños de sosa cáustica agotados para la terminación del metal. Concentrados agotados de la hidrometalurgia.
<b>residuos orgánicos acuosos</b>	residuos líquidos compuestos primariamente de agua pero que contienen mezclas o diluciones de sustancias orgánicas peligrosas.	Lavados de reactores químicos. agua de enjuague de recipientes que contienen pesticidas
<b>líquidos orgánicos</b>	residuos líquidos que contienen mezclas o soluciones concentradas de compuestos orgánicos peligrosos.	El lavado en seco ó quitar la grasa de metales genera solventes halogenados agotados. Residuos de destilaciones en la producción de intermediarios químicos
<b>Aceites</b>	residuos líquidos consistentes de aceites derivados del petróleo.	Aceites lubricantes agotados, aceite combustible contaminado, aceites de corte en la fabricación de maquinaria
<b>lodos/sólidos inorgánicos</b>	lodos, polvos, sólidos y otros residuos no-líquidos que contienen sustancias inorgánicas peligrosas	Polvos de cromo en la industria del metal. Control de emisiones de polvo en la fabricación del acero. lodos de los tratamientos de aguas residuales
<b>lodos/sólidos orgánicos</b>	alquitrán, lodos, sólidos, y otros residuos no-líquidos que contienen sustancias orgánicas peligrosas.	Lodos en operaciones de pintura. Las tortas en operaciones de filtrado, en la industria farmacéutica. Suelo contaminado con solventes derramados



## ***Clasificación de la Organización de las Naciones Unidas:***

La Organización de las Naciones Unidas tiene otra clasificación, cuyo reconocimiento es internacional. El contenedor de cada residuo debe portar una placa de identificación señalando la clase a la que pertenece el residuo :

### ***Clase 1. Explosivos***

- ◆ Con peligro de explosión de masa.
- ◆ Con peligro de proyección.
- ◆ Con peligro de combustión.
- ◆ Con peligro de explosión.
- ◆ muy insensibles.

### ***Clase 2. Gases.***

- ◆ Inflamables
- ◆ no inflamables.
- ◆ venenosos
- ◆ corrosivos.

### ***Clase 3. Líquidos inflamables.***

- ◆ Con un punto de inflamación menor a 18 °C
- ◆ Con un punto de inflamación entre 18 °C y 23 °C
- ◆ Con un punto de inflamación entre 23 °C y 61 °C.

***Clase 4. Sólidos inflamables, materiales combustibles espontáneos y materiales que son peligrosos cuando se humedecen.***

- ◆ Sólidos inflamables.
- ◆ Materiales combustibles espontáneos.
- ◆ Materiales que son peligrosos cuando se humedecen.

### ***Clase 5. Oxidantes y peróxidos orgánicos.***

- ◆ Oxidantes.
- ◆ Peróxidos orgánicos.

### ***Clase 6. Materiales venenosos y etiológicos.***

- ◆ Materiales venenosos.
- ◆ Materiales Etiológicos.

*Clase 7. Materiales Radioactivos.*

*Clase 8. Corrosivos.*

*Clase 9. Materiales peligrosos diversos.*

Algunas naciones tienen una lista de sustancias químicas específicas o clasificación de las mismas, donde se señala una concentración límite de tales constituyentes, cuando éste límite es excedido, automáticamente se clasifica el residuo como peligroso.

***Clasificación del Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud y el Programa de las Naciones Unidas para el mejoramiento del ambiente.***

Estas organizaciones realizaron un estudio sobre las necesidades especiales y los problemas que presentan los países industrializados para disponer en forma segura de los residuos peligrosos. Este estudio propone una clasificación de los residuos peligrosos en la que se relacionan de manera directa con los diversos giros industriales.

Las reglamentaciones federales en los U.S. especifican 5 listas en las que se agrupan algunas de las sustancias que por lo general se consideran residuos peligrosos. El objetivo de éstas es señalar a los productos químicos como residuos peligrosos cuando se liberan al ambiente, o bien, a aquellas industrias que durante sus procesos de fabricación puedan generarlos. La USEPA identifica a cada una de las sustancias que aparecen en las listas con dos claves especiales:

1. ***"Número de residuo peligroso de la USEPA"***. Su propósito es identificar al residuo en cualquier trámite legal que se requiera durante su manipulación. Aparece a la izquierda del nombre o descripción del residuo.
2. ***"Código de riesgo"***. Indica la característica por la cuál se considera peligroso al residuo. Se encuentra a la derecha del nombre o descripción del residuo. El código a utilizar puede ser:

- **I** Residuo Inflamable
- **C** Residuo Corrosivo
- **R** Residuo Reactivo
- **E** Residuo de Toxicidad característica
- **H** Residuo de peligro Crítico
- **T** Residuo Tóxico

Se debe de aclarar que en cuanto al código de riesgo, un residuo puede llevar una ó más letras que indiquen su peligro a la salud o al medio ambiente.

Las cinco listas mencionadas anteriormente son:

1. *Residuos peligrosos de fuentes no específicas.*

Considera a los residuos generados de procesos industriales, que se originen a partir del empleo de solventes, desgrasado, electroplatinado, del tratamiento térmico y ciertos residuos contaminados con dioxinas que se formaron durante la elaboración de productos químicos. Ejemplo de ellos pueden ser los solventes halogenados y no halogenados, como tetracloruro de carbono y tolueno, lodos provenientes de operaciones de electroplatinado, etc.

2. *Residuos peligrosos de fuentes específicas.*

En esta lista se identifica primero el giro industrial y después el residuo sólido con la descripción que se presenta en cada uno de los residuos producidos con esa categoría industrial. En caso de que coincida con alguna de las descripciones, se le considera un residuo peligroso listado. Si por alguna razón esta coincidencia no se da, entonces la lista resulta inaplicable. Ejemplos: lodos del tratamiento de agua residual de la producción de pigmentos inorgánicos (pigmentos verdes de cromo), productos químicos orgánicos (fondos de la destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno), plaguicidas (lodos del tratamiento de agua residual provenientes de la producción de clordano), etc.

3. *Residuos de Peligro Crítico.*

Son los residuos que se conoce son fatales para los humanos en pequeñas dosis o, que en ausencia de datos sobre toxicidad humana, se ha demostrado por medio de estudios que tienen una toxicidad oral  $Ld_{50}$  (en ratas) de menos de 50 mg/Kg., una toxicidad de inhalación de menos de 2mg/L ó una toxicidad dérmica de menos de 200 mg/Kg.; o que por otro lado es capaz de causar o contribuir de manera importante a un incremento de enfermedades irreversibles o de incapacidad reversibles. Ejemplos: bromoacetona, trióxido de arsénico, aldrin, etc.

4. *Residuos Tóxicos.*

Son los residuos que contienen alguno de los constituyentes tóxicos listados en el apéndice VIII de la parte 261, título 40 del código de Reglamentos Federales (CFR), a menos que el administrador concluya que el residuo no es capaz de poner en peligro a la salud humana o al ambiente, cuando en forma inadecuada se trata, almacena, transporta, se dispone o se maneja de alguna otra forma no indicada. Ejemplos: xileno, DDT, tetracloruro de carbono, fenol, etc.

5. *Constituyentes Peligrosos.*

Un residuo que contenga alguna de las sustancias que aparecen en esta lista, se considera peligroso. Son residuos característicos que exhiben propiedades de inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad. Ejemplos: cloroformo, dinitrofenol, hexacloroetano, fosgeno, etc.

Cabe aclarar que a los residuos que aparecen en alguna de las listas anteriores se les conoce como **residuos listados**, a diferencia de aquellos que se

consideran peligrosos debido a sus características, a los cuales se les conoce como **residuos característicos**.

En las dos últimas listas se incluyen como residuos peligrosos a los productos químicos comerciales, intermediarios químicos y especies fuera de especificación, siempre y cuando se descarguen o intenten ser descargados aplicándose a superficies de caminos o suelos, en lugar de darles el uso que se tenía pensado originalmente, o bien que se empleen como combustibles. La frase "intenten ser descargados" incluye la acumulación, almacenamiento, o disposición.

La siguiente tabla presenta un resumen de éstas listas y sus principales características:

<b>Nombre de la lista</b>	<b>Letra que identifica la lista</b>	<b>Código de Riesgo</b>
<b>Residuos peligrosos de fuentes no específicas</b>	F	T, R, I, H
<b>Residuos Peligrosos de fuentes específicas</b>	K	T, R, C, I
<b>Residuos de peligro Crítico.</b>	P	R, T
<b>Residuos Tóxicos</b>	U	C, R, T, I, E
<b>Constituyentes peligrosos</b>	U, P	-

Para terminar este capítulo, se quisiera mencionar la diferencia que existe entre los sistemas legales de E.U.A. y México.

### ***Diferencia entre los sistemas legales de Estados Unidos y México.***

Si se quiere tomar como marco de referencia la legislación de sustancias tóxicas en los Estados Unidos, es preciso considerar que las leyes, reglamentos y normas, establecidas en ese país difieren de las de México ya que es diferente el sistema legal aún cuando persigan el mismo objetivo.

Así, mientras que los **E.U.** tienen como marco el **Derecho Común**, en **México** tiene como respaldo el **Derecho Civil**, lo cual significa que en el primer caso el incumplimiento de la Ley conduce a una litigación, mientras que en el segundo se reduce a un procedimiento administrativo. Es decir, la participación del Sistema Judicial en los E.U. es más activa que en México.

Lo anterior no es nada trivial, ya que las mismas normas con un mecanismo distinto para hacerlas cumplir conducen frecuentemente a resultados distintos en cuanto a su observación.

En Estados Unidos, la afectación de bienes, de la salud o el ambiente, como resultado de procesos de producción contaminantes, de descuidos irresponsables en el manejo de productos químicos o accidentes, llevan a juicios y pago de indemnizaciones muy elevadas, lo que orilla a la autovigilancia y cumplimiento de la Ley. Esto no ocurre de la misma manera en México ya que el monto de las sanciones no permite reparar los daños de prácticas irresponsables o de accidentes, por lo que se requiere tener estas diferencias presentes al adoptar esquemas regulatorios con sustentos legales distintos.

### ***Perspectiva Nacional***

El crecimiento industrial y urbano en México, ha producido un aumento en la cantidad, volumen y calidad de los residuos peligrosos. Actualmente, México no cuenta con una infraestructura suficiente para dar un manejo adecuado a la diversidad de residuos urbanos e industriales que se generan, por lo que es importante *conocer y analizar* las diferentes tecnologías existentes para el control de dichos residuos.

Dentro de éstas tecnologías las más comunes son la incineración, el composteo y el reciclaje. Los expertos convienen en que los sistemas de gestión de residuos deben consistir en una combinación de procesos centralizados y de actividades de selección en origen, reciclaje y composteo, así como la *disminución* de los volúmenes dispuestos en relleno sanitario que tanto se ha dado en América Latina.

El plan nacional de desarrollo, subraya de manera general lo siguiente: *...Lograr la colaboración de las empresas para el tratamiento de sus residuos industriales, en especial de aquellos que son peligrosos por sus características corrosivas, reactivas, tóxicas e inflamables... Activar el establecimiento de plantas recicladoras, de tratamiento e incineración de residuos... Prevenir y controlar la contaminación del suelo mediante el tratamiento adecuado de los residuos sólidos municipales e industriales y el manejo correcto de sustancias peligrosas... El mismo programa señala las siguientes metas:*

- Se incrementarán las plantas de reciclaje, de tratamiento *in situ*, de tratamiento térmico, y de confinamiento controlado, conforme a las necesidades de los municipios y de los corredores industriales.
- En coordinación con entidades federativas se establece la instalación, en los corredores y ciudades industriales, de plantas de reciclaje, tratamiento físico, químico o biológico y de tratamiento térmico.

Una de las inquietudes a nivel nacional tanto económica como social y normativa, es la normalización de los tratamientos térmicos controlados, no se debe de olvidar que estos tratamientos forman parte de la cadena de minimización de los residuos y una de sus principales ventajas es una reducción considerable del volumen, del 70 al 90%; además de una opción clara para la producción adicional de energía. Aunque una de sus desventajas es el alto costo en su inversión.

### ***Panorama Internacional.***

En el ámbito internacional se ha mejorado el tratamiento de residuos, al considerar niveles más estrictos en el tratamiento; por ejemplo Alemania y Holanda cuentan con una nueva reglamentación que ha originado notables avances en el área de normatividad, por la participación conjunta entre el nivel industrial como el ciudadano. Esto representa una situación muy favorable para el desarrollo de grandes instalaciones de tratamiento técnico y la acumulación de una gran experiencia, no solo en los sistemas de control de los gases de salida, sino también en los procesos de combustión y en la preparación de residuos peligrosos como combustibles.

De todo lo anterior, se desprenden perspectivas favorables de los tratamientos térmicos para la recuperación de energía, se puede mencionar países como E.U., Japón, Alemania, Francia, Italia, que cuentan con un gran número de plantas para el tratamiento térmico de residuos peligrosos.

En el siguiente cuadro se ilustra un poco el panorama internacional, mostrando el número de plantas de incineración en funcionamiento, capacidad y recuperación de energía de algunos países:

**Panorama Internacional. Incineración de residuos**

<b>Pais</b>	<b>Población (millones de hab.)</b>	<b>No. de plantas de tratamiento térmico</b>	<b>Cantidad de residuos tratada en mton/año</b>	<b>% de residuos peligrosos</b>	<b>Recuperación de energía</b>
<b>Suecia</b>	8.6	23	1.8	45	100% 5 Twh calefacción
<b>Dinamarca</b>	5.2	38	1.7	35	100% mayoría calefacción
<b>Alemania</b>	61.2	47	9.2	70	la mayor parte
<b>Holanda</b>	14.9	12	2.8	60	50% de las plantas
<b>Francia</b>	55.8	170	7.6	58	685 de cap.
<b>España</b>	39.8	22	0.7	94	5 plantas
<b>Italia</b>	57.6	94	2.7	82	30% de cap.
<b>Gran Bretaña</b>	57.1	34	1.3	92	Pocas plantas
<b>Hungría</b>	10.6	1	0.3	91	No
<b>Estados Unidos</b>	248.3	168	28.6	84	128 plantas
<b>Japón</b>	123.2	1893	32	28	Pocas plantas
<b>Canadá</b>	23.1	17	1.7		

Fuente: International Solid Waste Association.

**Métodos de destrucción térmica.**

Existen muchos sistemas de destrucción térmica, algunos de ellos se clasifican dentro del área de incineración y otros dentro de la de pirólisis, a continuación se presenta un resumen de los principales.

1. **Horno Rotatorio.** Residuos de todos tipos se alimentan dentro de una gran cilindro que puede tener más de 18.3 metros de longitud. El cilindro gira lentamente y reclina a un ángulo de 5°. Los residuos sólidos y los líquidos inyectados o empujados dentro del horno, son quemados hasta convertirlos en cenizas y agua. El tiempo de residencia de los sólidos es de 30 minutos. Los productos de los gases incombustibles provenientes del horno son enviados a una cámara de combustión secundaria. Estas unidades alcanzan temperaturas de 1'260 °C (2'300 °F).



2. **Horno de Cemento.** Estos hornos son una clase especial de horno rotatorio que puede ser superior a los 213.3 mts. de largo por 4.6 mts. de diámetro. Diseñados para fabricar cemento por calentamiento de piedra caliza, arcilla y arena; estas unidades usan residuos peligrosos como parte de su mezcla de combustible. Con temperaturas de más de 1'649 °C (3'000°F), a las que se calienta el horno, y con grandes tiempos de residencia para los residuos líquidos, sólidos orgánicos y lodos.
3. **Inyección líquida.** Estos incineradores son usados exclusivamente para residuos líquidos bombeables, pero también pueden ser alimentados con gases residuales. Están equipados con un simple cilindro refractario que puede ser vertical u horizontal. Los residuos son inyectados a través de un atomizador. La eficiencia del incinerador esta determinada por la atomización final del residuo. Las temperaturas de las flamas alcanzan los 1 593 °C (2900 °F) y el tiempo de residencia de los residuos es de uno a dos segundos.
4. **Incineradores Pirolíticos.** Es un tratamiento térmico a alta temperatura, involucra la destrucción del material orgánico en un ambiente deficiente de oxígeno. El proceso se lleva a cabo en dos etapas. En la primera, el residuo se descompone en una fracción sólida y una fracción líquida en ausencia de aire u oxígeno, a una temperatura que va desde 538 a 2 204 °C (de 1 000 a 4 000 °F). La ausencia relativa de oxígeno permite la separación del residuo en una fracción orgánica de gas y una fracción sólida (sales, metales, partículas y combustible). En la segunda etapa, la fracción sólida es alimentada a alta temperatura a un incinerador de fuego directo, donde es quemado y el calor es recuperado para combustible de la primera etapa. La fracción gaseosa puede ser recuperada o incinerada.
5. **Incineración de Lecho Fluidizado.** Este tipo de dispositivos se ha usado recientemente para quemar principalmente residuos peligrosos. Consta de un cilindro vertical que puede ser de 13.7 mts. de alto, con un lecho de arena alumínica o de carbonato de calcio. Esta en mezcla con el residuo por medio de aire. Al agregar el residuo, inicialmente líquidos o lodos se mezclan con el lecho a temperaturas cercanas a los 871 °C (1 600 °F). El escape de los gases fluye dentro de un quemador posterior para una mejor combustión. Aunque estos incineradores les falta la versatilidad de un horno rotatorio, son más eficientes térmicamente que dichos hornos.
6. **Tratamiento Térmico por Infrarrojo.** Las unidades de incineración a altas temperaturas utilizan silicón como elemento carburante para generar radiación térmica más allá del espectro visible y rojo. Los materiales que van a ser tratados pasan por la unidad sobre un cilindro para ser expuestos a la radiación infrarroja. La emisión de gases pasa a una cámara secundaria para su oxidación posterior. Los gases que van a la atmósfera son tratados por medio de equipo de control convencional.
7. **Oxidación Catalítica.** En éste proceso, la corriente de vapor es calentada y pasada a través de una unidad de combustión en contacto con un catalizador. El uso de catalizador, permite el tratamiento térmico de contaminantes que ocurre a bajas temperaturas. La selección del catalizador depende del tipo de contaminante.

8. **Combustión Interna.** Este proceso usa una máquina de combustión interna industrial o automotriz, con su carburador modificado para aceptar combustibles en forma de vapor y líquidos, los cuales entran a una válvula de combustible suplementario y a una válvula de escape hacia el exterior, a fin de mantener el contenido de oxígeno requerido para el tratamiento de extracción de vapores del suelo.

9. **Horno de Plasma Centrifugo.** Este sistema consta de un alimentador de residuos tipo gusano. Los residuos son alimentados a una cámara centrífuga, en donde se aplica el arco por plasma que alcanza temperaturas superiores a los 10 000 °C, hasta reducir los productos a un residuo tipo vidriado.

- El método más común para la generación del plasma es la descarga eléctrica sobre un gas. El gas utilizado es relativamente poco importante para crear la descarga aunque afecta los productos finales formados. En el paso directo del gas la energía eléctrica es transformada en energía térmica y es absorbida por las moléculas del gas, las cuales son activadas dentro de un estado atómico ionizado, perdiendo electrones en el proceso. La radiación es emitida cuando las moléculas o átomos pasan de un estado de alta actividad a bajos niveles de energía.
- Cuando la actividad de los componentes del plasma decaen, su energía es transferida a los materiales residuales expuestos a el plasma. Los residuos son atomizados, ionizados, pirolizados, y finalmente destruidos al interactuar con el decaimiento de las especies del plasma. Teóricamente hablando, la destrucción de residuos debe resultar en moléculas o átomos como hidrógeno, monóxido de carbono y ácido clorhídrico.
- Los residuos son vaciados a una cámara colectora, en donde son enfriados hasta formar sólidos. Los residuos líquidos son volatilizados en la cámara centrífuga y sus moléculas son oxidadas parcialmente, estos gases al pasar a la segunda cámara de combustión se completa su oxidación mediante la inyección de oxígeno. Las emisiones finales pasan a una cámara de limpieza antes de ser emitidos a la atmósfera.

10. **Procesos de Vidrio - Fundido ( Molten - Glass Processes).** Los procesos de vidrio fundido están disponibles comercialmente para destruir y/o inmovilizar residuos peligrosos. Los procesos pueden destruir combustibles y algunas porciones tóxicas de los residuos peligrosos y simultáneamente incorporar residuos como cenizas y metales pesados no volátiles, dentro de una forma estable. El proceso reduce el volumen y la masa por reducción de la humedad, destrucción térmica y consolidación de material residual dentro de un vidrio denso y cristalino. Estos procesos operan por el principio de *joule heating*. Los electrodos son colocados en el lugar contaminado, por donde se aplica un voltaje eléctrico, pasando la corriente a través de componentes iónicos alcalinos presentes en el vidrio. La resistencia eléctrica del vidrio fundido genera calor dentro de los confines de los electrodos cuando el voltaje es aplicado. El calor es distribuido uniformemente dentro del vidrio fundido por corrientes convectivas en el fluido.

**11. Oxidación Húmeda.** Es un proceso de oxidación en fase acuosa, la cual se lleva a cabo cuando un compuesto orgánico y/o inorgánico oxidable es mezclado totalmente con una fuente gaseosa con oxígeno (normalmente aire) a temperaturas entre **150 y 325 °C (302 a 617 °F)**. Presiones entre 2.069 a 20.690 kPa (300 a 3000 lb/in<sup>2</sup>) se mantienen para favorecer la remoción y para controlar la evaporación. El proceso puede ser realizado en un reactor batch, pero usualmente es utilizado un sistema de flujo continuo. Los elementos del sistema son: bombeo de la alimentación del líquido a altas presiones, fuentes de oxígeno (compresor de aire u oxígeno líquido vaporizado), reactor, intercambiadores de calor y procesos regulados.

**12. Proceso de Reducción Química en fase Gaseosa.** El proceso involucra la reducción de compuestos orgánicos por hidrogenación a temperaturas elevadas. Los hidrocarburos clorados, bifenilos policlorados y dibenzo-p-dioxinas son químicamente reducidas a metano y ácido clorhídrico. El HCl generado puede ser recuperado como ácido o atrapado en un scrubber básico. Una de las ventajas de éste proceso es que no hay formación de dioxinas o furanos cuando se realiza la destrucción de compuestos orgánicos clorados, además cualquier dioxina o furano contenidos en el residuo son destruidos eficazmente. Esto permite que la recirculación del gas lavado sea apropiado para su monitoreo mediante un espectrofotómetro de masas de ionización química, el cual indica la eficiencia de las destrucción de manera continua. Este proceso ha demostrado ser una alternativa eficiente para la destrucción de PCB's con alto contenido de agua y residuos de aceites de alta resistencia, ambos pueden ser tratados con una eficiencia de remoción de hasta un 99.9999%.

*Debido, como ya se dijo, que estos sistemas se pueden clasificar dentro de dos categorías: **Incineración y Pirólisis**; a continuación se analizará de manera global estos tratamientos.*

### **Incineración.**

La Incineración es la quema de los materiales mediante una flama controlada, en un cámara cerrada (compartimiento).

Entre los principales beneficios de éste proceso, esta la casi eliminación total de los elementos tóxicos presentes en los materiales peligrosos, al destruir los compuestos orgánicos contenidos en ellos; así como la reducción del volumen de los mismos, amén de convertirlos en sólidos al vaporizar el agua y los demás líquidos que puedan contener los compuestos orgánicos, que son quemados en un alto rango de temperaturas.

Algunos compuestos orgánicos, incluyendo los encontrados en ciertos residuos peligrosos, se queman con mayor dificultad y deben ser sometidos a temperaturas más altas. Como consecuencia, los incineradores de residuos deben mantener temperaturas extremadamente altas para poder asegurar una virtual destrucción de los compuestos orgánicos. Sin embargo, los compuestos inorgánicos no pueden ser destruidos por incineración ni tampoco los compuestos de carbón carentes de hidrógeno, como el monóxido de carbono ó el bióxido de carbono. Este proceso térmico puede ser usado para aquellos residuos que contienen materiales inorgánicos, ya que pueden separarse con la ceniza resultante, aunque después tienen que ser preparados para su disposición final o bien para un manejo con menos riesgos.

Algunos de los componentes inorgánicos de los residuos que pueden ser alimentados al incinerador, no pueden ser destruidos, solo oxidados. Entre estos materiales se encuentran clasificados los metales, y entran al proceso como componentes del residuo para salir como óxidos de los metales que entran. Si el metal entra al proceso como una sal del metal, el cuál tendrá un punto de ebullición más bajo que la temperatura del incinerador, entonces puede vaporizarse en lugar de oxidarse y estará presente en el gas efluente. La volatilidad de ciertos metales tales como arsénico, antimonio, cadmio, y mercurio pueden crear problemas en el gas efluente y mas si junto con ellos hay presente cloro ya sea como gas o como ácido.

Otros residuos contienen halógenos y azufre, la combustión de estos residuos produce  $\text{SO}_2$ , y posiblemente  $\text{SO}_3$ , los halógenos producen el gas del ácido halogenado, como  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HBr}$ , ó se reducen al gas puro, como  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ , ... lo que también puede ocasionar problemas en la descarga del gas a la atmósfera.

Concluyendo, en la incineración se siguen teniendo riesgos en cuanto al tratamiento que se da tanto por emisiones debidas a una combustión incompleta, generación de subproductos como  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HX}$  y por la deficiencia de destrucción de los mismos, por un lado y por otro las cenizas resultantes del tratamiento siguen considerándose como residuo peligroso

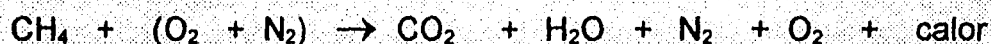
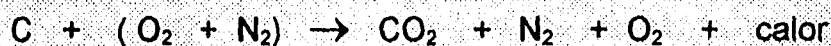
La incineración implica las siguientes etapas:

1. Alimentación del residuo al incinerador.
2. Incineración de los residuos, destruir los compuestos orgánicos, y generar productos residuales en forma de cenizas y gases.
3. La ceniza es recolectada, enfriada y removida del incinerador.
4. Los gases se enfrían, se limpian y se liberan a la atmósfera a través de la chimenea o tiro del incinerador.

El equipo utilizado en cada una de las etapas anteriores, depende principalmente del tipo de incinerador y de las características físicas ó químicas de los residuos a incinerar. En el *anexo 3.1* se muestra un sistema típico de incineración para una amplia variedad de residuos.

Las temperaturas en las cámaras de combustión varían, pero generalmente están en el intervalo de **900 a 1'400 °C**, para destruir compuestos orgánicos difíciles de quemar se necesitan temperaturas superiores a los 1'400 °C. Los residuos se mantienen generalmente a tales temperaturas por varios segundos. En muchos incineradores, la combustión ocurre en dos cámaras. La primera es para los residuos orgánicos fáciles de quemar y para los compuestos que son más difíciles se requiere de la segunda cámara para completar la combustión.

Las reacciones típicas de combustión son:



Una buena combustión es una buena oxidación de los componentes orgánicos, como muestran las reacciones anteriores. Para lograr esto, el aire, el cuál contiene 21% de oxígeno en volumen, debe ser completamente mezclado con el combustible (residuo) para obtener un producto estequiométrico de bióxido de carbono y agua.

En un sistema completamente homogéneo (reactor bien agitado), se requiere tanto *Tiempo* como *Turbulencia* y una *Temperatura* preestablecida para que la oxidación completa ocurra. Esto significa que las tres *T's* de la combustión afectan la reacción. Si una *T* disminuye las otras dos deben de incrementarse para lograr la misma eficiencia de combustión. Por ésta razón, pocas reacciones de combustión se completan a la temperatura teórica mínima o con la cantidad estequiométricamente exacta de oxígeno necesario para la combustión.

Las leyes que regulan la incineración de residuos peligrosos fueron esencialmente inexistentes hasta 1980.

En la actualidad **los incineradores de inyección líquida** son los tipos de incineradores *más comunes*, estos representan el 64% de todos los incineradores de **residuos peligrosos** que se encuentran en servicio actualmente, a nivel mundial.

Uno de los compuestos orgánicos que es considerado de los más peligrosos es aquel que contiene cloro y usualmente se le llama hidrocarburo clorinado. La mayoría de los procesos industriales como los agrícolas, farmacéuticos y de refinería generan este tipo de compuestos. El cloro tiende a reducir la combustión debido a que reduce el valor calorífico y también crea un combustible más difícil de quemar. Y si es quemado de manera incorrecta, el material clorinado tenderá a formar un polvo negro como resultado de la mala combustión, el cual es considerado más tóxico que el residuo de origen.

Los sistemas son operados actualmente con la última tecnología para la combustión y sistemas de tratamiento térmico, además con excelentes sistemas de instrumentación para recobrar el calor (calderas de desperdicios) y recobrar productos secundarios (torres de recuperación). Están en servicio actualmente unidades de operación con cargas de generación de vapor de 60,000 lb/h.

Para *sólidos, lodos y materiales que no se transporten por medio de bombas*, el **incinerador de tipo rotatorio** es el más común.

La incineración de residuos líquidos produce normalmente muy pequeñas cantidades de ceniza, por el contrario, la incineración de sólidos, produce mayor cantidad de ceniza, normalmente del 10 al 30% de la cantidad original de residuo. Cabe aclarar que estas cenizas pueden contener elementos peligrosos.

### ***Residuos como combustibles en la incineración.***

En realidad, la combustión de residuos peligrosos no es muy diferente de la combustión de combustibles convencionales, excepto que los residuos pueden contener variedad en la clase de compuestos orgánicos. Cada compuesto orgánico y cada residuo tiene una capacidad calorífica medible (expresada en BTU/lb ó Cal/g) el cuál puede ser determinado experimentalmente con una bomba calorimétrica ó calorímetro; sin embargo, para los residuos químicos mas comunes y mezclas de éstos, ya existen tablas de capacidades caloríficas en la literatura.

Con frecuencia los residuos orgánicos tienen capacidades caloríficas altas suficiente para apoyar o mantener la combustión, en tales sistemas el combustible auxiliar es necesario sólo para la ignición del residuo. Sin embargo, existen algunos otros residuos peligrosos cuya capacidad calorífica es tan baja que el objetivo del combustible auxiliar es llevar al residuo a la temperatura donde pueda ocurrir la oxidación satisfactoriamente.

Los combustibles auxiliares pueden ser los comercialmente disponibles como el gas natural (metano), propano (LPG), luz o algún aceite combustible, o posiblemente un residuo combustible.

Hay cientos de residuos que pueden ser considerados como combustibles por su alto poder calorífico, entre ellos tenemos las mezclas de solventes agotados tal como tolueno y acetona. El tolueno tiene una capacidad calorífica de 18,440 BTU/lb, el valor para acetona es 13,119 BTU/lb. En una mezcla 50/50 la capacidad calorífica resultante es de 15,686 BTU/lb, lo cual lo hace un excelente combustible.

### ***Pirólisis.***

Hay dos modos distintos de operación para sistemas de incineración de residuos peligrosos: la oxidación y la pirólisis. Estos modos se aplican solo para la etapa de combustión primaria, ya que se requiere de la segunda combustión para realizar una oxidación completa para hacer que el método sea aceptable, debido a la descarga de efluentes a la atmósfera.

En este tratamiento la descomposición de materia orgánica es por calentamiento a altas temperaturas, con presión y en una atmósfera libre de oxígeno, en un reactor diseñado especialmente para este proceso.

Como resultado de las reacciones se obtienen compuestos orgánicos:

- gaseosos: principalmente hidrógeno, monóxido de carbono y metano
- sólidos: es una mezcla de vidrio, metales, plásticos y carbono fijo formando un material con características semejantes al coque y con un poder calorífico de aproximadamente 12,000 BTU/lb
- líquidos: condensado acuoso que contiene compuestos orgánicos como alcohol metílico, metil-cetona, y un aceite combustible de acetato y alquitran con un poder calorífico de 5,000 Kcal/Kg.

El mayor o menor rendimiento en la formación de estos productos depende de la composición del material sometido al proceso, de las condiciones de operación como temperatura, presión, tiempo de proceso o de residencia del material en la cámara pirolítica, de la turbulencia, y consecuentemente de la buena transferencia de calor que se dé dentro del equipo.

El reactor pirolítico consiste de una retorta calentada con gas, hermética y revestida con una chaqueta bien aislada.

Esta retorta gira lentamente y tiene una pequeña inclinación en el sitio de la alimentación a la descarga, los residuos son alimentados a través de un sello que se abre y son sometidos dentro de la retorta a una temperatura de **650 a 1 400 °C**, en una atmósfera libre de oxígeno por lo cual los materiales no son sometidos a una combustión propiamente dicha.

Así como se ha descrito este procedimiento, se utiliza en E.U. cuando se intenta recuperar algo de energía, pero generalmente esto no sucede. Lo que se hace es introducir los productos de la cámara pirolítica en una segunda cámara de combustión para llevar a cabo una oxidación completa de los residuos, lo que ha valido que el método sea medianamente aceptable.

En el *anexo 3.2* se muestra un incinerador vertical controlado con aire, de doble cámara. Este incinerador es el más frecuentemente utilizado en el modo pirolítico.

El sistema de dos cámaras está diseñado para ser pirolítico sólo en la primera etapa, por una razón --reduce la velocidad del gas-- y además reduce la cantidad de partículas transportadas. Los gases de combustión parcial provenientes de la primera cámara ( $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ ) pasan a la segunda cámara para una combustión completa ( $\text{CO}_2$  y vapor de agua).

En realidad este sistema presenta muy pocas ventajas: - puede controlarse la emisión de partículas sin la adición de equipo especial para la captura de las mismas, altas temperaturas. Y en cambio tiene mas desventajas: - las combustiones no son completas, la ceniza proveniente de estos equipos presenta niveles altos de constituyentes peligrosos, los equipos son costosos, y existe una limitante en la selección de la temperatura, para no fundir las paredes metálicas.

Para finalizar ésta sección, se presenta en resumen las principales características de los procesos de destrucción térmica.



## **SISTEMAS DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA**

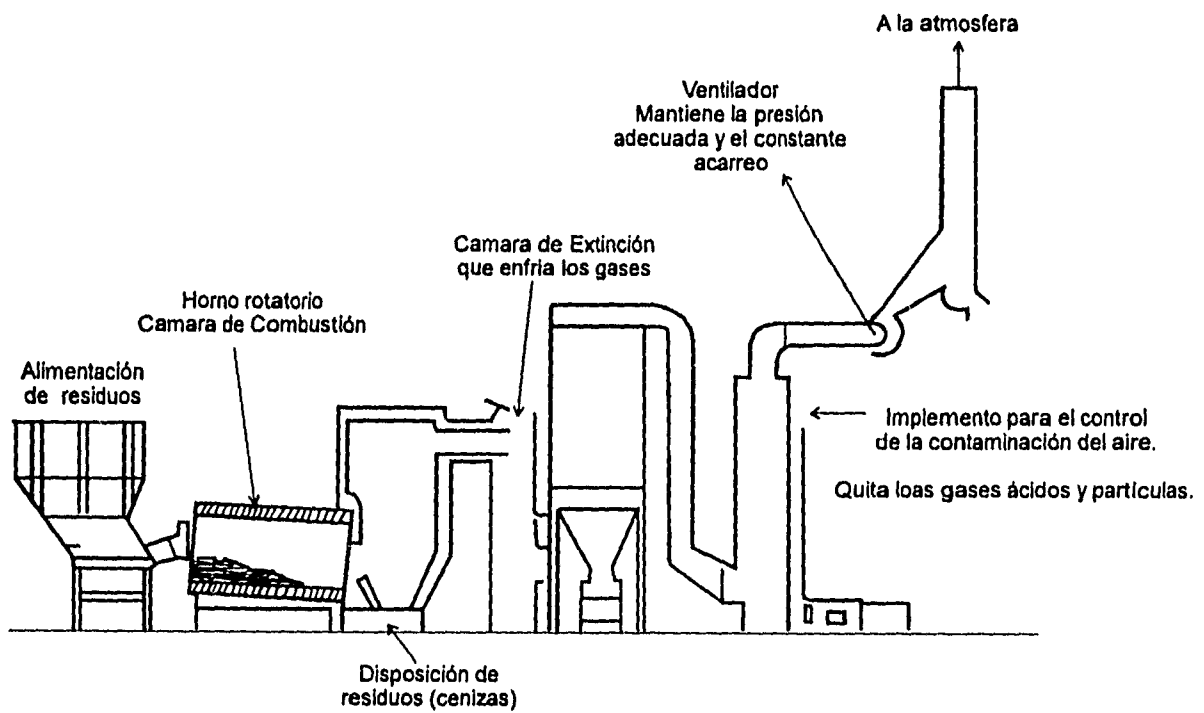
### **INCINERACIÓN**

- atmósferas oxidantes (aire y exceso de oxígeno)
- temperatura de operación limitada.
- descarga de efluentes a la atmósfera
- las cenizas son consideradas como tóxicas y requieren de un método de disposición final

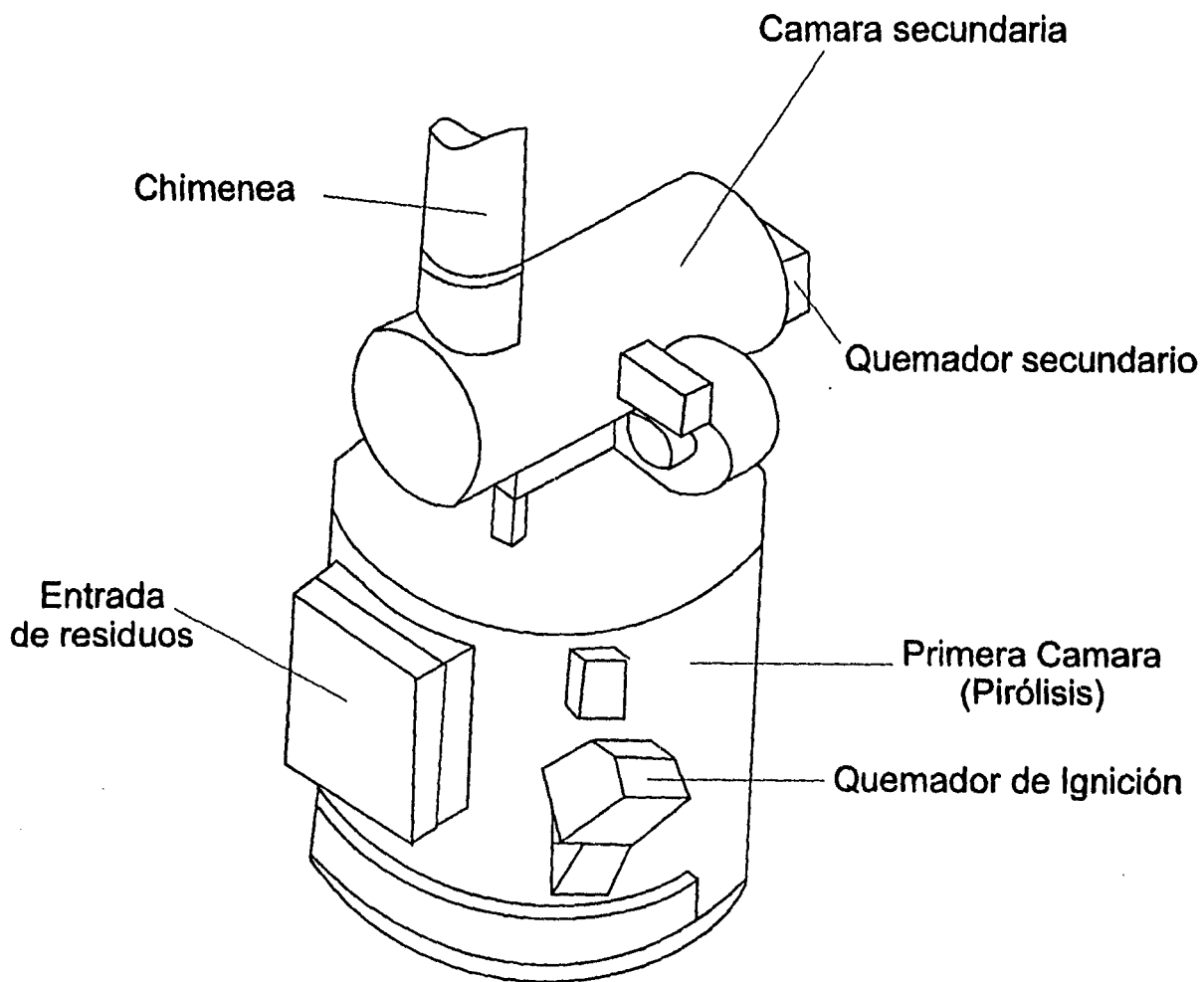
### **PIRÓLISIS**

- temperatura de operación limitada
- posibilidad de combustiones incompletas
- capacidad de operación reducida con costos muy altos.

**ANEXO 3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA TIPO DE INCINERACIÓN.**



**ANEXO 3.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TIPO PIROLÍTICO**



**GASIFICACION DE UN RESIDUO PELIGROSO.**

La producción nacional de petróleo se basa en los crudos tipo Istmo, Maya y en menor producción Olmeca; los crudos tipo Istmo y Olmeca son ligeros, de alta calidad, en tanto que el Maya, que está clasificado como pesado, contiene una gran proporción de Asfaltenos, azufre y metales. Ya que las reservas del país están formadas en 54% por petróleo Maya, cabe esperar que en el mediano plazo, su consumo represente un porcentaje mayor al actual, que es aproximadamente 31%. Lo anterior significa que el crecimiento industrial poblacional continuo demanda una mayor producción de combustibles y que deberá ajustarse a la cada vez más estricta legislación de protección ambiental.

La gasificación aunque tiene antecedentes sólidos en la industria del carbón, aún no está bien difundida su aplicación en distintas áreas importantes, sin embargo, tiene un futuro promisorio, dado que la protección al ambiente es un imperativo mundial por los efectos negativos que la contaminación ya provoca en el equilibrio ecológico y a la salud.

Uno de sus grandes atributos es que puede aceptar como alimentación petróleo o cualquier fracción derivada de éste, líquidos orgánicos, mezclas de líquidos y sólidos orgánicos, gases, etc.

Sus utilidades se han visto reflejadas en aplicaciones como:

- Producción de gas de síntesis para la industria del metanol, amoniaco y oxo-químicos.
- Producción de gas combustible de mediano poder calorífico y libre de compuestos de azufre.
- Producción de gas reductor para uso metalúrgico.
- Generación de vapor de agua de alta presión.
- Hidrógeno de proceso.
- Producción de azufre.
- Se pueden convertir con ventaja las reservas nacionales de carbón de baja calidad a insumos carboquímicos.

## **Gasificación.**

El proceso de gasificación ha sido usado desde años atrás como alternativa para convertir el carbón en un gas combustible. El principal objetivo consiste en hacer reaccionar el carbón para generar una mezcla de gases (hidrógeno, monóxido de carbono y metano), que sea útil como combustible por su contenido calorífico.

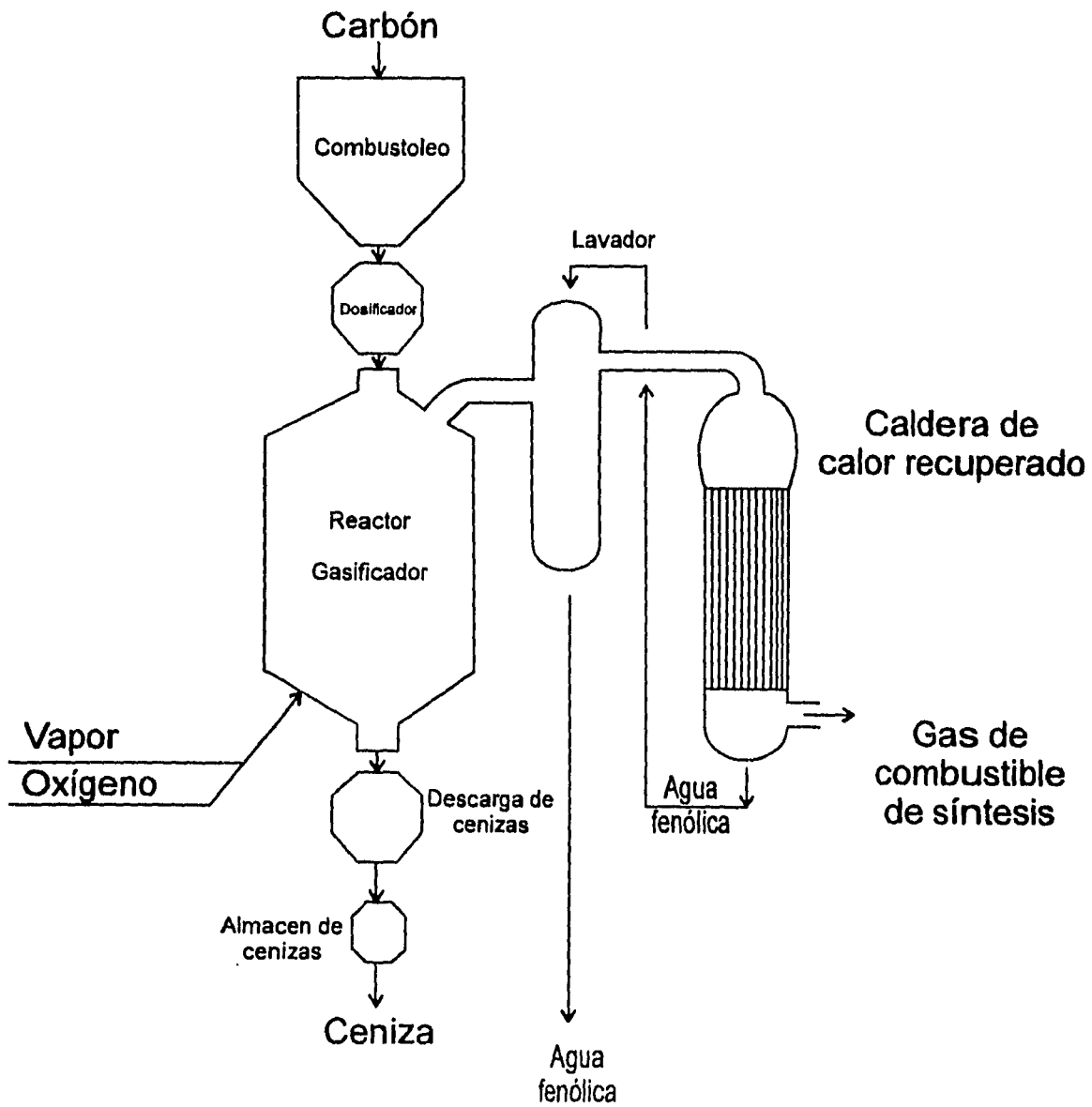
La intención inicial era conseguir la presencia predominante del metano en esta mezcla, debido a que tiene un contenido de energía muy alto (cerca de los 1000 BTU/scf); sin embargo, en la práctica los compuestos predominantes son monóxido de carbono e hidrógeno. Esta mezcla de gases se identifica a nivel industrial como la producción de un **gas sintético**.

La base del proceso es combinar el carbón con vapor de agua a altas temperaturas (mayores a **1 200 °C**) y altas presiones (20 a 70 atm) para asegurar que la mayor cantidad de hidrógeno y monóxido de carbono sean convertidos en metano. El proceso conocido con el nombre de *método Lurgi*, surgió hace 30 años para evitar agotar las existencias de aceites y gas natural usados como combustibles.

Este proceso mereció la consideración de varios estudios de los cuales surgieron varias modificaciones, se pueden nombrar algunos de ellos: **Lurgi-BGC Slagger**, **Shell-Koppers**, **CO<sub>2</sub>- Acceptor**, **Texaco**, pero todos ellos coinciden en las altas eficiencias obtenidas de la gasificación.

La siguiente figura muestra un esquema del **método de Lurgi** original y las siguientes tablas indican los requerimientos necesarios y los resultados obtenidos en todos ellos.

GASIFICACIÓN DEL CARBÓN. METODO DE LURGI



Proceso	Dry Bottom Lurgi	Lurgi-BGC Slagger	Shell-Koppers	Texaco
<b>Carbón</b>	N. Dakota Lignita	Illinois -6	Illinois -6	Illinois -6
<b>O<sub>2</sub> requerido</b> m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (CO + H <sub>2</sub> + 4CH <sub>4</sub> )	0.12	0.20	0.28	0.34
<b>Vapor requerido</b> mol (CO + H <sub>2</sub> + 4CH <sub>4</sub> )	1.09	0.26	0.045	-----
<b>%peso de Carbón requerido</b>				
alquitrán	1.89		-----	
aceite	3.23	2.08	-----	
nafta	0.96	1.43	-----	
<b>Corriente típica de gas crudo</b> %vol., base seca				
C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.92	0.50	0.0	0.0
CH <sub>4</sub>	11.01	6.14	0.0	0.1
CO	16.03	59.01	65.0	51.8
CO <sub>2</sub>	32.46	6.49	0.8	10.6
H <sub>2</sub>	39.18	25.91	32.1	35.2
H <sub>2</sub> S + COS	0.40	1.95	1.4	1.3
N <sub>2</sub>	-----	-----	0.7	1.0
<b>Referencia</b>	CCDC, Abr. 1978	CCDC, Oct. 1978	Voght, 1979	Chandra, 1978

Proceso	Dry Bottom Lurgi	Lurgi-BGC Slagger	Shell-Koppers	Texaco
<b>Carbón</b>	N. Dakota Lignita	Illinois -6	Illinois -6	Illinois -6
<b>Eficiencia Térmica</b> % para producir				
<b>Gas Crudo</b>	68.5	68.8	78	79.3
<b>BTU Gas</b>	58.3	53.3	-----	67.5
<b>Subproductos</b>	6.8	5.8	-----	0.8
<b>Referencia</b>	CCDC, Abr. 1978	CCDC, Oct. 1978	Voght, 1979	Chandra, 1978

Las reacciones de gasificación se definen como un equilibrio simultáneo de las siguientes cuatro reacciones:



### ***GASIFICACION COMO ALTERNATIVA PARA LA DESTRUCCION DE RESIDUOS PELIGROSOS.***

Esta propuesta se enfoca a utilizar el residuo peligroso por varias razones:

- La generación tan grande de éstos residuos, que no implica que la generación de residuos de tipo municipal sea pequeña; solo que los residuos peligrosos contienen un poder calorífico mayor que el que traen los residuos de tipo municipal.
- La generación de otros tipos de residuos ya tienen alternativas de destrucción viables, y que no perjudican al ambiente o a la salud tanto como los residuos peligrosos.
- Existen otras razones, que se intentarán demostrar en el siguiente análisis, que hacen ha éste método una mejor alternativa que la incineración.



En E.U. uno de los sistemas más estudiados para encontrar alternativas de combustibles es el *procesamiento o producción de un combustible (gasificación)*, el cual representa ya por sí mismo ventajas, pero si en lugar de utilizar un derivado del petróleo, se utiliza un residuo sólido, entonces el proceso surge como un sistema de destrucción térmica de residuos de grandes ventajas y amplia escala de comercialización.

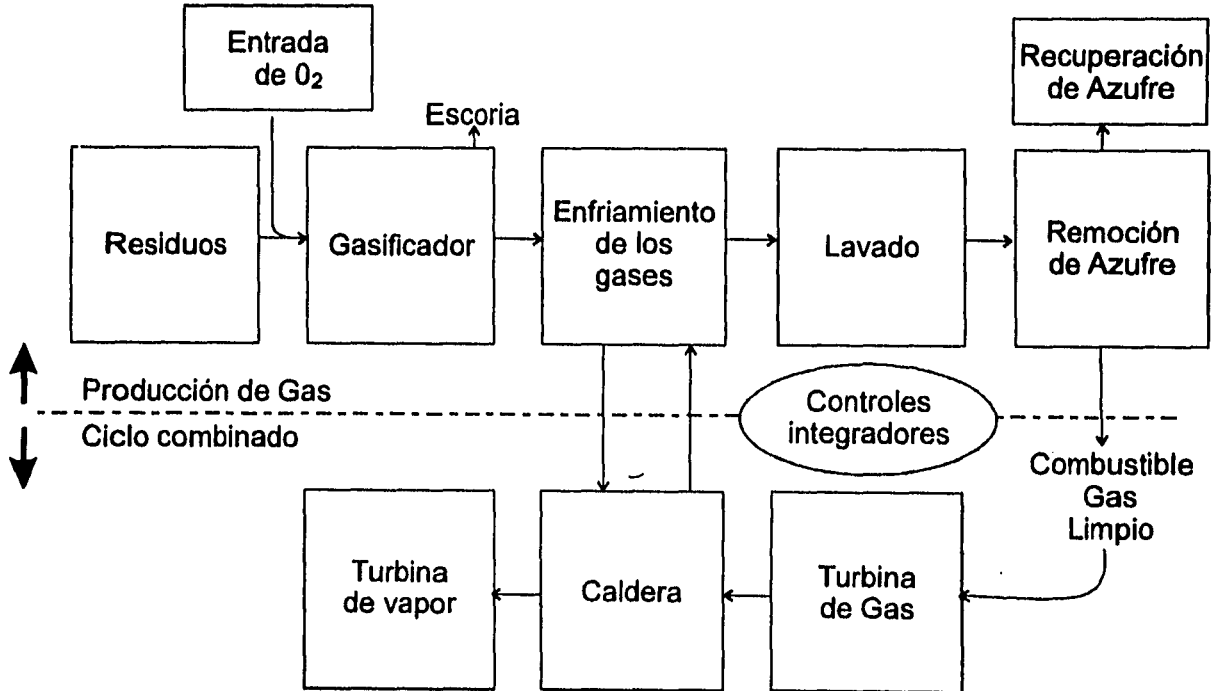
La idea de utilizar como combustible un residuo peligroso, surgió en el *Instituto Battelle*, donde el *Dr. Helmut Schulz* realizó las primeras pruebas de destrucción de uno de los residuos más tóxicos y peligrosos como son los **PCB's**. Los resultados de las pruebas resultaron tan positivas, que el *Dr. Helmut* propuso a *Union Carbide*, el productor más grande de residuos de **PCB's** en el mundo y consecuentemente el de mayor responsabilidad para hacerse cargo de la destrucción de estos residuos, llevar a cabo más pruebas instalando una planta piloto. *Union Carbide* es el dueño del gasificador instalado en Nebraska, y la tecnología esta a cargo de *Global Energy*, Institución de nombre creada para patentar el proyecto.

El método se identifica aquí como **gasificación de residuos peligrosos**, consta de dos partes, la primera es la gasificación del residuo y la segunda la generación de energía eléctrica.

El método completo para la generación de energía eléctrica se identifica por las siglas **IGCC** (*Integrated Gasification Combined - Cycle*), donde el concepto principal del sistema **IGCC** es utilizar la oxidación parcial de un residuo como gas combustible de contenido calorífico medio o bajo que es subsecuentemente limpiado para usarse en una turbina de gas, caldera de vapor, y turbina de vapor para generar electricidad.

El proceso separa las cenizas en forma vítrea inerte, elimina las partículas y remueve el azufre al grado ambiental requerido, además de no tener descargas de efluentes a la atmósfera; el resultado es un excelente gas combustible limpio que provee eficiencias altas en la turbina de gas y de vapor (excelente recuperación de energía en forma eléctrica) y satisface en exceso los requerimientos ambientales. El siguiente esquema presenta un diagrama de bloques global del proceso.

Diagrama de bloques global del proceso



## **CARACTERISTICAS BASICAS DEL METODO.**

En la primera etapa se produce un gas combustible limpio por medio de la reducción del residuo. En la segunda etapa se utiliza el sistema **IGCC** para la generación de electricidad. Estas dos etapas se dividen a su vez en:

- ◇ alimentación del residuo peligroso y demás requerimientos
- ◇ gasificación del residuo peligroso
- ◇ lavado de los gases de salida y recuperación de productos
- ◇ producción de energía

Se tratará cada una de las etapas por separado, para después presentar una descripción global del proceso y el diagrama de flujo para el proceso completo.

### **◇ Alimentación del residuo peligroso y demás requerimientos**

La gasificación se lleva acabo en un reactor térmico, y la alimentación consiste de:

1. *combustible y residuo* : Varios tipos de combustibles y residuos pueden ser alimentados a un gasificador:

### Combustibles:

- Carbón
  - ◊ bituminosas
  - ◊ sub-bituminosas
  - ◊ lignita
  
- Petróleo
  - ◊ aceites pesados/residuales
  - ◊ coque de petróleo

### Residuos:

- Biomasa
  - ◊ desechos alimenticios
  - ◊ bagazos
  
- Residuos
  - ◊ residuos de tipo municipal
  - ◊ residuos hospitalarios
  - ◊ **residuos peligrosos**

2.- *Oxígeno y vapor de agua.* Se alimenta oxígeno y vapor de agua en pocas cantidades para mantener una atmósfera reductora y llevar a cabo las reacciones de reducción. Existe gran controversia en si el oxígeno alimentado al gasificador debe ser oxígeno puro o como mezcla en el aire.

Cualquier combustible sólido puede ser gasificado con aire o con oxígeno, creando dos diferentes tipos de combustible:

- Un combustible con *bajo* contenido calorífico, aproximadamente un octavo del contenido calorífico del gas natural, se obtiene con una gasificación realizada con aire.
  
- Un combustible con mediano contenido, que es aproximadamente la *quinta o cuarta* parte del contenido calorífico del gas natural, se obtiene en una gasificación con oxígeno.

Para el requerimiento específico de una planta, lo anterior significa que un sistema de gasificación que utiliza aire como oxidante, y el subsecuente sistema de limpieza tendrá cerca del doble de la medida de un sistema de gasificación que utilice oxígeno como oxidante. La controversia se da en si el costo adicional de una planta más grande que utiliza aire, es balanceado por un costo adicional para que opere una planta adicional generadora de oxígeno.

La solución está en los requerimientos de la planta, ya que un sistema que utiliza oxígeno, es configurado para generar cerca de 265 MW, mientras que un sistema que utiliza aire está limitado a menos 100 MW.

El siguiente cuadro muestra una tabla que presenta las características típicas de gasificación para el gas limpio obtenido en ambos tipos de sistemas.

*Características típicas del gas combustible obtenido con sistemas oxidantes diferentes.*

<b>PRINCIPALES CONSTITUYENTES (% VOL.)</b>	<b>GASIFICACION CON OXIGENO</b>	<b>GASIFICACIÓN CON AIRE</b>
<b>CO</b>	33.3	8.8
<b>H<sub>2</sub></b>	29.0	15.4
<b>CO<sub>2</sub></b>	13.9	7.5
<b>N<sub>2</sub></b>	0.4	31.7
<b>CH<sub>4</sub></b>	0.2	3.8
<b>H<sub>2</sub>O</b>	23.5	32.8
<b>Poder calorífico más bajo (BTU/ft<sup>3</sup>)</b>	188	108
<b>(Kcal/m<sup>3</sup>)</b>	1670	960

El vapor de agua se utiliza para desplazar el equilibrio de la reacción a la derecha y así asegurar que los productos de las reacciones sean principalmente CO y H<sub>2</sub>, también regular la temperatura dado que se llevan cabo algunas reacciones endotérmicas, además de mantener la atmósfera reductora necesaria para llevar a cabo la gasificación.

Cabe señalar que el empleo de exceso de vapor origina la producción de más hidrógeno a expensas del CO, y como el calor radiado por la llama de monóxido es 2.4 veces el radiado por otra llama de hidrógeno del mismo tamaño, es evidente que podrá perderse efectividad en la transmisión del calor.

#### ◊ **Gasificación del residuo.**

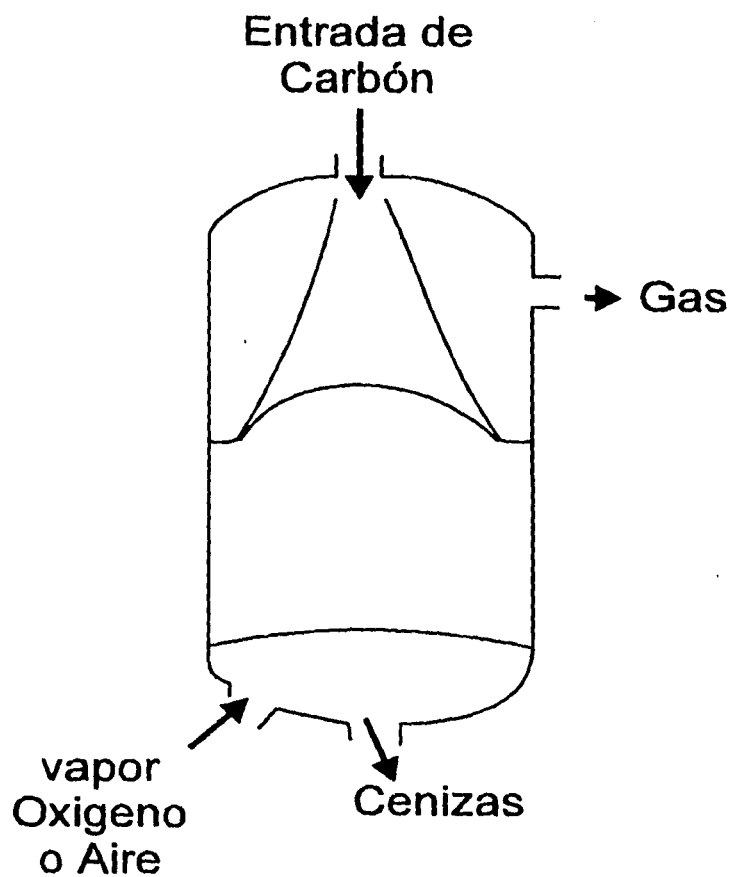
En la etapa de gasificación, es importante señalar que el tamaño de los gránulos de carbón (coque) a gasificar condiciona la homogeneidad del lecho, íntimamente relacionada con la mecánica de la marcha del gasógeno. A medida que aumenta el tamaño de grano la altura del lecho debe ser mayor para conseguir una buena gasificación, y al aumentar la altura del lecho crece su dificultad para su homogeneización y a la pérdida de carga térmica. Los finos además de contribuir a la pérdida de carga de los gases, dan compacidad al lecho y originan la formación de canales y escorias que dificultan la marcha del proceso. La presencia de un amplio espectro de tamaños de grano origina la formación de puentes de carga, con la consiguiente complicación de la descarga de cenizas y escorias.

Hay tres tipos diferentes de gasificadores presurizados que pueden ser integrados en el ciclo combinado con una turbina de gas. Los tres tipos de gasificadores han sido utilizados en escala comercial. Existen versiones diferentes para cada uno de ellos pero todos pueden operar con aire o con oxígeno.

Los tres tipos de gasificadores son:

- ∅ En este gasificador se alimenta el vapor y el oxidante a contracorriente con el residuo.
- ∅ Baja temperatura en la entrada de los reactivos
- ∅ La temperatura de salida de los gases menor a 538°C

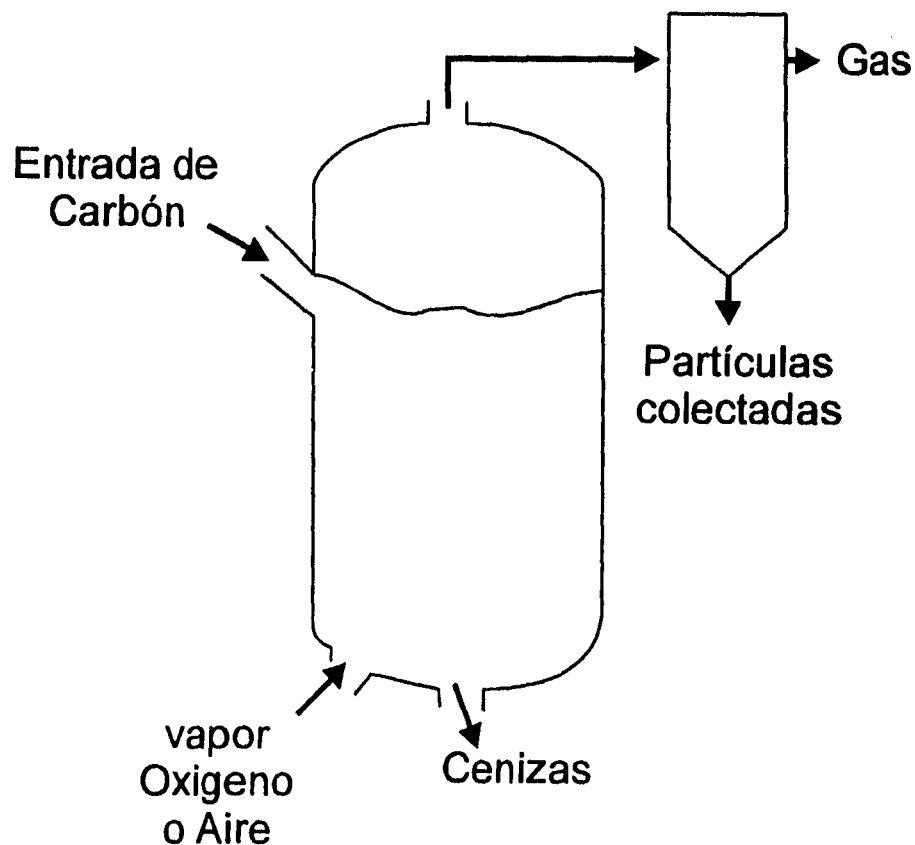
En la siguiente figura se presenta un esquema de éste gasificador.



## Gasificador de lecho fluidizado

- ◇ El vapor y el oxidante son alimentados a contracorriente con el residuo.
- ◇ La temperatura de entrada de los reactivos es menor a  $538^{\circ}\text{C}$
- ◇ La temperatura de salida de los gases es alta, de  $870 - 930^{\circ}\text{C}$

En la siguiente figura se presenta un esquema de éste gasificador

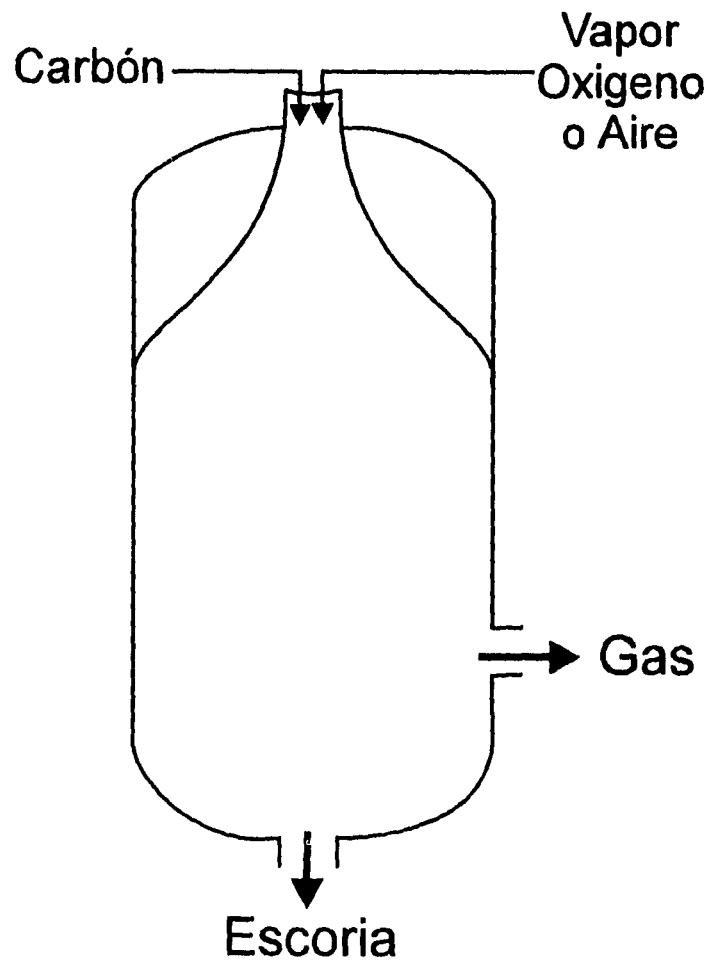




## Gasificador de flujo continuo

- ◇ Se alimentan juntos el vapor, el oxidante y el residuo
- ◇ La temperatura de salida de los gases y de la ceniza es de 1260 - 1540 °C

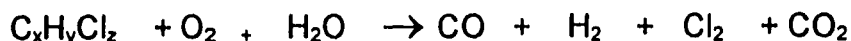
En la figura que sigue se presenta un esquema de éste gasificador



Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas y desventajas que tendrán que ser analizadas para la aplicación particular.

El equilibrio completo de las reacciones en el gasificador, puede ser definido como el equilibrio simultáneo de las siguientes reacciones:

Principalmente:



que es la reacción de descomposición del residuo clorinado. Para compuestos con azufre:



Las siguientes reacciones representan los equilibrios considerando todo el residuo destruido, estas reacciones son las que se estudian para interpretar aproximadamente lo que sucede dentro del gasificador. Se presentan junto a las reacciones las constantes de equilibrio y las entalpias de reacción, a dos diferentes temperaturas:

Temperatura °C	827	827	927	927
	ΔH	K	ΔH	K
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	-94.64	$7.21 \times 10^8$	-94.66	$5.52 \times 10^7$
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	-8.35	0.944	-8.06	0.697
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	+32.47	11.58	+32.45	39.77
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	-21.65	0.0368	-21.79	0.0161
$2C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + CH_4$	+2.47	0.402	+2.60	0.446

Las entalpias están dadas en Kcal/mol.

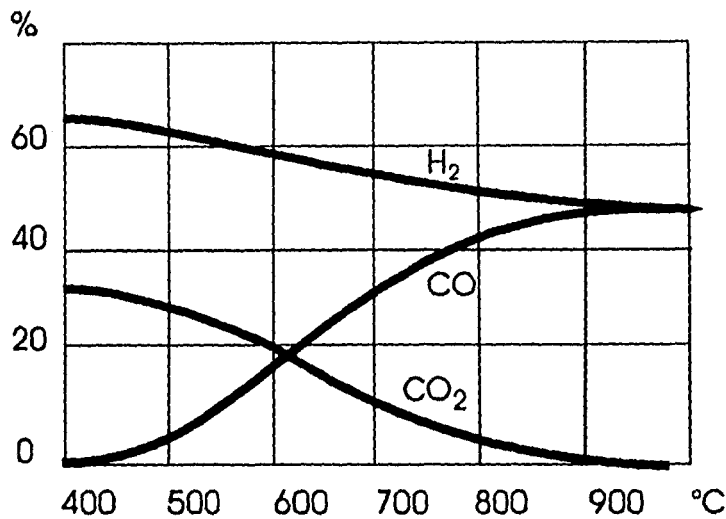
Analizando la tabla, lo mas importante que hay que notar es el incremento tan considerable de la constante de equilibrio para la reacción de formación del monóxido de carbono (CO) y del hidrógeno (H<sub>2</sub>), con solo aumentar 100°C la temperatura de gasificación.

Como en realidad, la temperatura del gasificador operando con residuos peligrosos y en especial con PCB's debe ser mayor, se extrapolaron estos datos a la temperatura de 1,650°C para tener una idea mas clara de que sucede con los equilibrios:

Temperatura °C	827	927	1650
	K	K	K
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$7.21 \times 10^8$	$5.52 \times 10^7$	$4.13 \times 10^2$
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	0.944	0.697	0.2130
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	11.58	39.77	7649.97
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	0.0368	0.0161	$5.3011 \times 10^{-4}$
$2C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + CH_4$	0.402	0.446	0.29931

Estas constantes de equilibrio extrapoladas a la temperatura de gasificación, demuestran el gran incremento de la constante para la formación de monóxido de carbono e hidrógeno, además la disminución de las constantes para la formación de bióxido de carbono; lo que explica también el porque en la práctica no es tan fácil la obtención de metano y si el predominio del CO e H<sub>2</sub>.

La siguiente gráfica presenta las distintas composiciones del gas de salida, en función de la temperatura de proceso:



Los gases que salen del gasificador deben de ser enfriados antes de ser conducidos al lavador, ya que éstos equipos no resisten altas temperaturas. Esta parte del proceso se aprovecha muy bien, ya que por medio de un intercambiador de calor se disminuye la temperatura de los gases y además se genera el vapor necesario para continuar el proceso recirculándolo a la entrada del gasificador por lo tanto solo se requiere vapor para iniciar el proceso.

El enfriamiento puede realizarse de dos maneras:

- Un intercambiador de calor- generador de vapor por convección y radiación
- Un generador de vapor solo por radiación

#### ◊ **Lavado de los gases.**

Un lavado de gases puede definirse como un proceso por medio del cual se limpian o se eliminan las sustancias que no requerimos en la corriente de gas. Existen dispositivos que por medio de un líquido eliminan los sólidos suspendidos en una corriente gaseosa, sin embargo también se pueden disolver ciertos gases que perjudican el objetivo de la corriente en el proceso.

### *Sistema general de un lavador.*

Un sistema completo de lavador incluye un número mínimo de elementos para llevar a cabo una operación satisfactoria:

- ducto que conduce el gas hacia el lavador.
- campana de extracción.
- estructura de soporte del lavador y el lavador.
- separador de entrada.
- ducto de salida de los gases al ventilador.
- ventilador
- chimenea.

Los fabricantes de lavadores ofrecen una gran variedad de equipos, los cuales se encuentran disponibles en un amplio rango de diseños, capacidades de operación costos de inversión y costos de operación. Seleccionar el más adecuado a nuestros propósitos requiere que se entiendan las alternativas y aplicaciones que presentan cada una de éstas unidades. No está dentro del objetivo de éste trabajo mostrar ó explicar cada uno de los distintos lavadores, pero si se considera necesario presentar las alternativas, ventajas y desventajas de ellos para tener una idea más clara de ésta etapa del proceso.

### ***Tipos de lavadores. Ventajas, desventajas y aplicaciones.***

Para propósitos de diseño los lavadores se clasifican en dos grupos:

- Los que utilizan superficies húmedas de diversos tipos como medio de colección.
- Los que utilizan las gotas de líquido como blanco de colección.

Algunos lavadores son diseñados principalmente para la colección de partículas, otros para la transferencia de masa. Como se requiere un buen contacto líquido-gas sea cual sea la operación a realizar, todos los lavadores pueden coleccionar partículas y gases en cierta cantidad. El grado en el que la colección de partículas y la transferencia de masa característicos a un lavador puedan ser explotados, determinarán que tan apropiado es el lavador para el proceso requerido.

### *Alternativas, ventajas y desventajas de los distintos lavadores.*

1. - *Lavadores con platos.* Este tipo de lavadores se aplica más frecuentemente a procesos de secado, aunque también son elegidos para operaciones de combustión, de fundición, y para la remoción de contaminantes del gas.

#### Sus principales ventajas son:

- Relaciones de flujo grandes con platos múltiples.
- Remoción de polvo y absorción de gases simultáneamente.
- Es factible tener flujos de líquido grandes.
- Puede ser construido en tamaños grandes
- Puede manejar fluctuaciones tanto de volumen como de temperatura.

#### Sus principales desventajas:

- No puede manejar líquidos espumosos
- El diseño de resistencia a la corrosión es caro
- No puede remover partículas finas.

2. - *Lavadores de lecho empacado.* Son prescritos casi exclusivamente para el tratamiento de gases contaminados y para colectar líquidos en neblinas. También se utilizan para partículas solubles y para partículas insolubles no adheribles.

#### Ventajas:

- Eficiencia de absorción grande
- Construcción de resistencia a la corrosión barata
- Amplia experiencia en su uso.
- Simplicidad de instalación.
- Disponible en tamaños estándar

#### Sus desventajas:

- Baja remoción de partículas
- Dificultad de acceso
- Susceptible de formar escamas y ensuciamiento.
- Es vulnerable a altas temperaturas

3. - *Lavadores de lecho fibroso.* Funcionan como torres empacadas, se escogen para capturar gases contaminados y líquidos en neblinas. También se especifican para partículas solubles y ocasionalmente partículas insolubles no adheribles.

4. - *Lavadores de rocío preformado.* Se utilizan primordialmente para capturar gases. También se emplean para unidades de fundición (cápsulas húmedas) y, ocasionalmente, para procesos de calcinación, combustión y secado. Se utilizan para remover SO<sub>2</sub> y partículas en plantas de alta energía, y para la colección de partículas en general.

Sus ventajas son:

- No requiere ventilador
- Disponible en tamaños pequeños
- Requiere de poco espacio
- Disponible en almacén
- Disponible en distintos materiales de construcción

Sus principales desventajas:

- Requiere grandes flujos de agua
- Eficiencia limitada para la colección de partículas
- Baja eficiencia de absorción

Si el rocío es generado con gas, tenemos las siguientes ventajas:

- Gran eficiencia de remoción de partículas
- Bajo potencial en formación de escamas
- Resistencia a la temperatura y a la corrosión.
- El volumen y la presión pueden variarse automáticamente

Y las desventajas:

- Elevado consumo de energía
- Abrasión en el área de la garganta
- Baja capacidad de absorción
- Dificultad para seleccionar la caída de presión correcta

5. - *Lavadores de gas atomizador.* Estos lavadores son utilizados con mayor frecuencia en operaciones de fundición. Se utilizan también en operaciones de calcinación y secado, así como para la colección de contaminantes de gases y control en procesos de combustión. Se utilizan en plantas de alta energía para la remoción de SO<sub>2</sub> y partículas.

6. -- *Lavadores de impacto y arrastre.* Estos equipos han sido utilizados en procesos de combustión, calcinación, trituramiento y para la colección de contaminantes de una corriente de gas. Los eyectores venturi se utilizan en refinerías de petróleo para recuperar el catalizador en polvo.

Ventajas:

- No necesita bombeo ni toberas
- Maneja material fibroso
- Tiene remoción de partícula y absorción simultánea

Las desventajas:

- Eficiencia de colección y absorción limitadas
- Control de nivel de líquido difícil
- El peso aumenta con el líquido
- El diseño integral causa acceso difícil
- Baja eficiencia en la clarificación del líquido.

7. - *Lavadores de Lecho movedizo*. Se utilizan muy frecuentemente en procesos de secado. También para limpiar las emisiones en procesos de combustión y fundición, para el control de polvos de trituradores y gases contaminantes. Se utilizan en plantas de alta energía para la remoción de  $\text{SO}_2$  y partículas.

De todo lo anterior podemos concluir que el tipo de lavador más recomendable en estos usos es el lavador de impacto y arrastre, del cual el tipo más usado es el venturi.

La característica principal de un lavador tipo venturi es la presencia de una sección transversal reducida ó "garganta" a través de la cual se forza al gas a fluir a alta velocidad, el gas se acelera y pasa a través de la garganta donde entra en contacto con el líquido de lavado. El líquido también es acelerado junto con el gas lo que provee la velocidad necesaria para efectuar los mecanismos de colección que son impacto, inercia, difusión, nucleación y condensación. La finalidad o el objetivo es lanzar la partícula a una velocidad relativamente alta y suficiente a un obstáculo que la atrape, que generalmente es una gota de agua.

Las fuerzas de arrastre causan que algo de la energía cinética del líquido se transfiera a la corriente del gas, dando como resultado una recuperación parcial de la energía que se había perdido durante la aceleración del gas en la garganta. Esta energía es la que distingue a los lavadores venturi de los demás colectores.

En el caso de absorción de gases, la transferencia de masa se lleva a cabo a través del área superficial formada por las gotas. Si la caída de presión es alta, se crean gotas más pequeñas y hay más turbulencia, lo que incrementa la eficiencia. Sin embargo el tiempo de contacto es relativamente bajo en los Venturis por lo que la eficiencia total es baja comparado con otros dispositivos. Así mismo, los Venturis pueden ser arreglados en serie para incrementar la eficiencia de colección.

Las aplicaciones típicas de éstos lavadores incluyen el control de emisiones de incineradores, hornos, calcinadores y secadores.

Los sistemas de baja temperatura utilizan equipo que es de uso común en la industria petroquímica como un lavador de agua con spray, filtración en seco para la eliminación de sólidos, seguido por la absorción de  $\text{H}_2\text{S}$  por medio de un solvente, para una recuperación de azufre. Las plantas de recuperación de azufre convierten los compuestos de azufre a azufre elemental para su venta como sub-producto.

Después del lavado de los gases, lo que tenemos como producto es un gas combustible limpio, cuyos componentes principales son metano, hidrógeno y monóxido de carbono.



El objetivo de la siguiente etapa es aprovechar este gas combustible para recuperar energía en forma de vapor ó generar energía eléctrica.

#### ◇ **Producción de energía.**

Antes de entrar a la etapa de producción de energía eléctrica, se presenta una descripción del proceso de gasificación global, anexando el diagrama de flujo.

#### **Descripción del proceso.**

La gasificación como tratamiento térmico es un proceso para destruir compuestos químicos orgánicos que contienen cloro, incluyendo los **PCB's**. Este proceso utiliza una temperatura más alta que la incineración común, temperatura superior a los 1,650 °C.

En el proceso de gasificación el residuo tóxico es alimentado dentro de una atmósfera reductora en donde el residuo es destruido para formar sub-productos en forma útil, para comercializarlos.

Este proceso **elimina** la formación de *sub-productos clorinados peligrosos* tales como **dioxinas y furanos**.

Dentro del gasificador los residuos son mezclados con oxígeno y vapor a una temperatura de 1650 °C o más, para descomponer al residuo. Los productos de descomposición gaseosa son pasados a través de un lecho de carbón o coque quemándose a la misma temperatura. El lecho de carbón/coque crea una atmósfera pobre en oxígeno o reductora en la cual varios gases son producidos, separados, y removidos del interior del gasificador.

Uno de los gases colectados a partir del proceso, a una temperatura cercana a 1093 °C es el gas combustible que contiene hidrógeno, monóxido de carbono, bióxido de carbono, metano, amonía, cloro y sulfuro de hidrógeno. La proporción de éstos gases depende del residuo que se este alimentando.

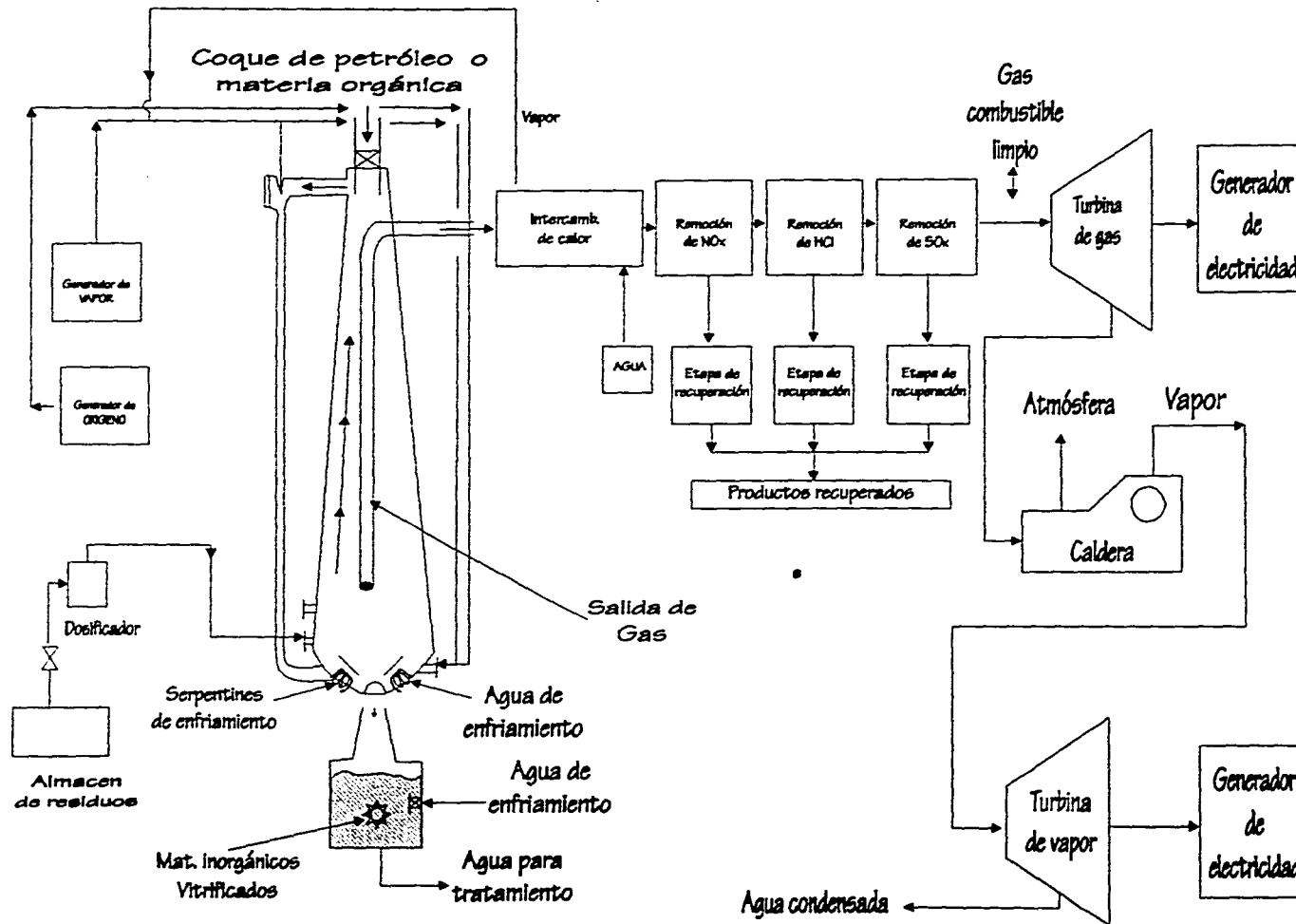
Después de salir del gasificador, el producto gas es enfriado usando agua para producir vapor que es reutilizado en el mismo proceso de gasificación, en consecuencia hay un ahorro de energía ya que solo se necesita generar vapor para el arranque de la gasificación, después el mismo proceso satisface el requerimiento.

El producto gas enfriado es tratado para remover las partículas, ácidos, metales, amonía y azufre. El producto gas después de la limpieza es similar al gas natural en valor calorífico y puede ser usado como un combustible industrial para calderas. El proceso de tratamiento del gas produce agua residual que debe ser tratada para remover impurezas.

El gas crudo acumulado en la parte alta del gasificador es recirculado a la zona de alta temperatura para que reaccione y se destruya. En esta zona, los fenoles y los aceites contenidos en el gas crudo son destruidos.

Mientras el carbón o el coque es consumido durante el proceso, la escoria fundida "*molten slag*" se forma debido a la alta temperatura, de ahí que el proceso de gasificación recibe el nombre de "*slagging gasifier*". La escoria fundida es removida de el fondo del gasificador y enfriado usando agua "*sistema quench*". La escoria enfriada contiene compuestos químicos inorgánicos no combustibles, en forma de residuo vidrioso no lixiviable. Estos materiales vidriosos se usan en asfalto y concreto como materiales de pavimentado.

# DIAGRAMA DE FLUJO



El incremento en los costos de combustibles como los aceites o el gas natural, así como la expectativa de acabar con estos recursos, ha incrementado el interés en buscar alternativas para la utilización de otros combustibles que además puedan beneficiar tanto en aspectos económicos como ambientales. Una de éstas alternativas es el uso de combustibles sólidos.

En los sistemas de incineración común, la emisión de partículas es controlada por un sistema de separación utilizando varios ciclones y finalmente un removedor de partículas, en el sistema **IGCC**, la remoción de partículas se lleva a cabo a partir del gas combustible, y la experiencia ha concluido que el total de partículas suspendidas es aproximadamente **una tercera parte del total** generado por los incineradores comunes.

El término *ciclo combinado* se refiere a usar una turbina de gas en combinación con una turbina de vapor. La turbina de gas conduce a un generador para producir electricidad; los gases de expulsión calientes son llevados directamente a un recuperador de calor - generador de vapor, la fuerza de vapor resultante es conectada a una turbina de vapor para ser usado en el generador de electricidad.

Los diseños recientes en turbinas de gas proveen en su operación arriba de los 150 MW, lo que establece nuevos niveles de eficiencias en *plantas de ciclos combinados* mayores al 45%. Además éstos ciclos combinados generan enormes ventajas al ser ambientalmente óptimos:

- A diferencia de los incineradores comunes, donde los metales y compuestos inorgánicos se concentran en las cenizas volátiles, en el IGCC, estos compuestos ya no se encuentran debido a que se separaron del gas, desde la etapa de gasificación.
- La turbina no tiene descargas a la atmósfera, ya que los gases calientes que salen de ella, entran a la caldera para generar vapor.
- El utilizar un combustible limpio incrementa la eficiencia de la turbina y por lo tanto la economía del proceso.

<b>EFICIENCIA, %</b>	<b>MSW para electricidad</b>	<b>MSW para electricidad</b>
	<b>Ref. 34</b>	<b>Ref. 35</b>
<b><i>Incinerador de tubos de agua</i></b>	29	19
<b><i>Incinerador modular para polvos y partículas pequeñas.</i></b>	24	18 - 24
<b><i>Pirólisis, productos gaseosos</i></b>	19 - 23	
<b><i>Pirólisis, productos líquidos</i></b>	13	

MSW: DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES

Es importante hacer notar que la vida media y el funcionamiento de las partes de una turbina de gas se ven seriamente afectadas por varios constituyentes contenidos en los combustibles sólidos industriales. La ceniza formada durante la combustión directa de estos combustibles crea la necesidad de un mantenimiento excesivo para la turbina de gas, debido a problemas de erosión, corrosión y deposición de cenizas.

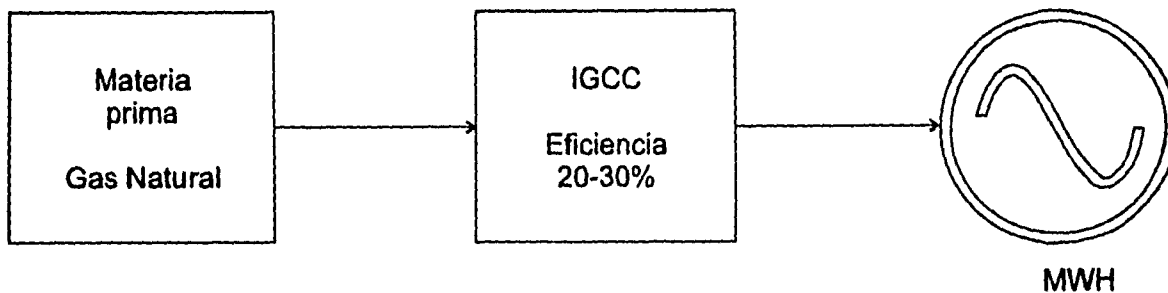
Los metales alcalinos como el sodio y el potasio causan daños severos de corrosión a altas temperaturas. Al igual, el vanadio y el plomo son altamente corrosivos. El azufre no es por sí mismo dañino al equipo, pero debe ser limitado por requerimientos ambientales. El utilizar combustibles líquidos de petróleo requiere de concentraciones de sustancias alcalinas menores a 1 ppm, ya que el incremento de ésta concentración reduce la vida media del equipo en un 50%. Lo mismo sucede cuando la temperatura de operación es superior a los 250°C. Esto viene a reforzar la necesidad cada vez mayor de utilizar combustibles limpios.

## **ESTIMACION DE COSTOS.**

Para presentar una estimación aproximada se analiza un caso en el que el proyecto de *Gasificación de residuos peligrosos* puede ser viable; es importante mencionar que un análisis formal no puede presentarse, debido a que en principio la alimentación de residuos al gasificador es **variable** tanto en **cantidad** como en **tipo**, segundo existe poca información en cuanto a los costos de los equipos utilizados en procesos como incineración y gasificación.

Este caso puede ser la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que debido a su proceso de generación de electricidad y al mantenimiento de sus unidades se generan grandes cantidades de PCB's, como residuos.

El siguiente diagrama de bloques presenta a groso modo el sistema actual de generación de electricidad en CFE:



La Comisión Federal de Electricidad (CFE) compra gas natural (metano) como combustible para generar la electricidad; a nivel ambiental éste gas natural se identifica como gas sucio ya que puede traer consigo muchos contaminantes.

Cabe mencionar que CFE también utiliza el ciclo combinado (IGCC) para la generación de electricidad, la entrada del gas natural a las turbinas acarrea problemas como:

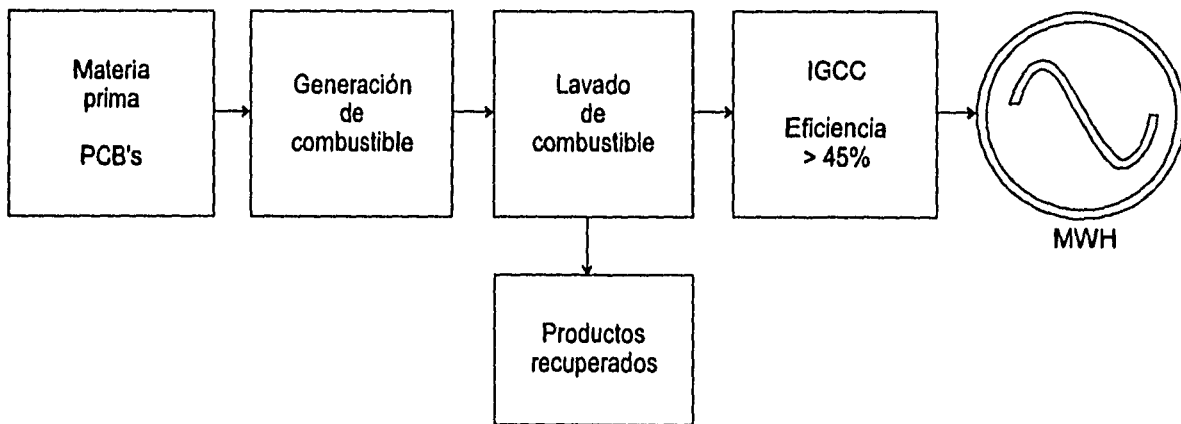
- *Ambientales*: crear descargas de efluentes tóxicos a la atmósfera; para resolver el problema se requiere un sistema de control de contaminantes que aumenta costos de operación.
- *Tecnológicos*: los contaminantes que trae consigo el gas natural, generan un problema al reducir el tiempo de vida media de las turbinas, aproximadamente en un 40 a 50%, por lo tanto los costos de operación y mantenimiento aumentan.
- *Económicos*: ya que las eficiencias reportadas en estas turbinas de IGCC, utilizando gas natural se encuentran entre el 20 y el 30%.

Por último, hay que señalar que la generación de electricidad por KWH le cuesta aproximadamente 5 centavos de dolar (N\$ 0.30). De éstos 5 centavos de dolar, 90% representa el costo de combustible y 10% costos de operación, mantenimiento y utilidades. Esto quiere decir, que CFE recibe muy pocas utilidades ó tendrá que elevar los costos de venta para recibir beneficios importantes.

**Alternativa: Gasificación de residuos peligrosos**

La intención es comparar el sistema existente en CFE, con la propuesta de gasificación de los residuos peligrosos, tomando como ejemplo los PCB's, ya que la CFE es por sí mismo un gran generador de ellos.

Diagrama de bloques para la gasificación de residuos peligrosos:



En este caso, la materia prima de entrada son los PCB's que por la razón anterior resulta ser gratuito al proceso ó en todo caso representar un beneficio en costos ya que el servicio de destrucción de PCB's puede ser accesible a otros generadores, hoy en día se está pagando de 2 a 8 dolares/Kg de PCB en un servicio de destrucción.

El proceso de gasificación, representa la generación del gas combustible, que involucra tanto costos de inversión como de operación y mantenimiento.

La limpieza del gas, también involucra un costo de operación y mantenimiento, pero puede ser compensado en parte por la comercialización de los productos recuperados.

La entrada del **gas limpio** a las turbinas en el ciclo combinado IGCC representa varios puntos a favor:

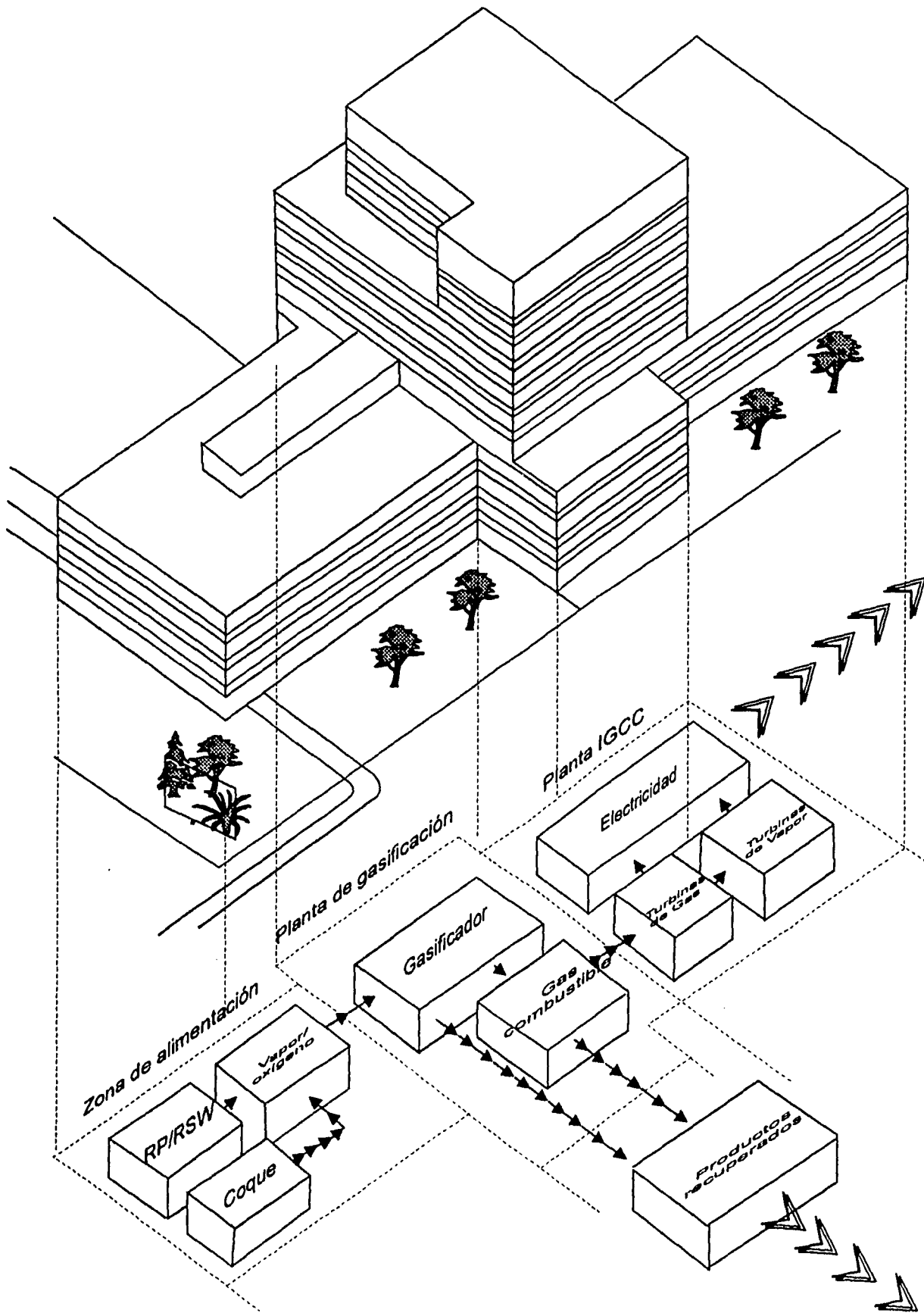
- *Ambientales*: no hay descarga de gases tóxicos a la atmósfera, los requerimientos ambientales se cumplen en exceso.
- *Tecnológicos*: el manejar un gas limpio incrementa el tiempo de vida media del equipo, por lo tanto, los costos de mantenimiento se reducen.
- *Económicos*: la eficiencia en las turbinas se incrementa a 45% o más.

Concluyendo, el 90% de costo en combustible para la producción del KWH se ve prácticamente eliminado, el tiempo de vida media de los equipos se ve incrementado, y los costos de operación y mantenimiento reducidos. Estos factores necesariamente incrementan las utilidades.

Así, si suponemos que los costos de mantenimiento y operación se mantienen constantes, del 10%, se podría hablar tentativamente de un *sistema generador de electricidad que produce un KWH por \$N 0.03* y que además de cumplir en exceso con los requerimientos ambientales, ayuda a la **destrucción** de uno de los **residuos más peligrosos** generados en la actualidad.

Por último, una muestra de la planta del sistema completo, incluyendo el IGCC, en tercera dimensión.





**ANALISIS.****Resultados obtenidos en una planta piloto ( Global Energy, Instituto Batelle) para PCB's**

En el *Instituto Batelle*, en E.U. se llevó a cabo una evaluación experimental de éste método para establecer la eficiencia de destrucción de uno de los residuos más peligrosos y difíciles de destruir, los **PCB's**. Esta evaluación también pretendió determinar la presencia o ausencia de **dioxinas o furanos**, productos de recombinación en el proceso de destrucción, presentes en los gases de salida.

Se prepararon muestras consistentes con un contenido de 5 ml y otras con 10 ml que diluidas en un solvente produjo aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de muestra gaseosa. Estas últimas muestras de 10 ml fueron para dar mayor confianza y veracidad a los resultados obtenidos, ya que con una cantidad así se pueden determinar *eficiencias superiores al 99.9999%*.

Los análisis de las pruebas se realizaron bajo las determinaciones establecidas por la EPA.

Los siguientes cuadros muestran los resultados obtenidos.

**Tabla N.1 Eficiencias de destrucción de PCB.**

<b>Prueba No.</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Cantidad alimentada de PCB (gr)</b>	<b>PCB detectado a la salida (ug)</b>	<b>Eficiencia de destrucción %</b>
<b>1</b>	1600	-----	2.3	-----
<b>2</b>	1550	13.980	1.3	99.99999
<b>3</b>	1620	14.509	nd	99.99996
<b>4</b>	1620	14.609	nd	99.99997

- nd : no se detectó
- la prueba No. 1 se realizó con metanol, sin PCB

**Tabla N. 2 Determinación de dioxinas y furanos en el gas de salida.**

<b>Prueba No.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	1600	1550	1620	1620
<b>Volumen de gas (m<sup>3</sup>) de la muestra.</b>	1.23	1.03	1.79	1.69
<b>2,3,7,8 tetra CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	0.07	(0.26)	0.05	0.09
<b>Total tetra CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	0.74	0.55	(0.22)	0.83
<b>Total penta CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	0.05	(0.05)	0.04	0.32
<b>Total hexa CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.08)	(0.07)	0.04	0.15
<b>Total hepta CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.12)	(0.08)	0.07	nd
<b>Total octa CDF, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.56)	(0.45)	0.18	0.22
<b>2,3,7,8 tetra CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.19)	(0.24)	nd	nd
<b>Total tetra CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	0.17	0.14	0.37	0.26
<b>Total penta CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.16)	(0.17)	nd	nd
<b>Total hexa CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.05)	(0.06)	0.04	0.04
<b>Total hepta CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	(0.11)	(0.17)	0.07	0.09
<b>Total octa CDD, ng/m<sup>3</sup></b>	0.11	(0.55)	0.35	0.33

- CDF : Dibenzo furanos, CDD: Dibenzo dioxinas,
- nd : no se detectó
- los números en paréntesis indican los límites de detección para analíticos no detectados.

Las tablas muestran los siguientes puntos:

- Las eficiencias de destrucción fueron más grandes que 99.9999%, para las muestras que contenían PCB.
- Los dos últimos resultados fueron especialmente significativos por que duplican el resultado obtenido, en ellos no se detectó PCB, a 1620 °C.

- Para la prueba No.1, donde se alimentó metanol sin PCB, se reportó la presencia de 2.3 ug, esto sugiere que la muestra alimentada tenía problemas de contaminación. Se reanalizó la muestra y se confirmó la contaminación en algún punto de manejo de la misma.
- Los resultados en general indican una eficiencia de destrucción en exceso.
- Los análisis del gas producido reportan las distintas clases de isómeros encontrados. Los resultados obtenidos indican que no hay una presencia significativa de CDD y CDF.
- Es especialmente notorio que el **isómero 2,3,7,8 TCDD**, considerado el **más tóxico** de los isómeros, **no fuera detectado** en alguna de las muestras.

## **Conclusiones.**

La **gasificación de residuos peligrosos**, es una nueva propuesta de utilizar la gasificación para un residuo peligroso como método de destrucción térmica que además aporta la recuperación de energía en forma de vapor y la generación de electricidad.

El sistema se caracteriza por

- *Una limpieza casi total...*

Los incineradores comunes son capaces de exceder las más estrictas regulaciones ambientales, sobre todo cuando en las emisiones son detectadas sustancias como las dioxinas o furanos, suficientemente tóxicas. El proceso de gasificación inhibe la formación de los diferentes isómeros de estos compuestos, debido a la atmósfera reductora con la que opera. Las determinaciones realizadas en los gases de la gasificación no detectan la presencia de estos compuestos. La **eficiencia de destrucción** es superior al **99.9999%**.

Nuevamente, los incineradores comunes generan tanto cenizas como volátiles que son considerados como tóxicos ó residuos peligrosos, tales como gases ácidos, inorgánicos y metales pesados, esto requiere de tratamientos de disposición final costosos como el confinamiento controlado, para estos productos. La gasificación recupera los metales e inorgánicos en forma vítrea inerte, estos pueden ser usados en una variedad de aplicaciones de construcción como carreteras, ya que el producto es no - lixiviable. También recupera los ácidos para volver a ser utilizados, tal como compuestos de azufre que son transformados a azufre elemental y el nitrógeno puede ser recuperado en forma de amoníaco, ambos productos con opción de comercialización.

Los niveles de  $SO_x$  y de  $NO_x$  son **diez veces más bajos** que los requerimientos establecidos por USEPA.

Concluyendo, en **la gasificación no se generan residuos.**

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- *Una alta eficiencia ...*

El proceso global de gasificación tiene una **eficiencia** estimada en un **77%**, significativamente más grande que la de un incinerador.

El gas combustible obtenido tiene un poder calorífico ideal para ser utilizado en plantas de potencia de ciclo combinado. La eficiencia en las turbinas del sistema **IGCC** no disminuye por la utilización de un gas con poder calorífico más bajo, (**1/5** del poder calorífico del gas natural).

- *Una alta flexibilidad de operación...*

Debido a que pueden ser alimentados una gran variedad de residuos, dependiendo únicamente de su preparación adecuada para suministrarse al gasificador.

Tiene la alternativa de utilizar oxígeno o aire para llevar a cabo la gasificación, la diferencia estriba en el contenido calorífico del gas combustible limpio obtenido, más bajo cuando se usa aire.

- *Una economía aceptable ...*

El sistema resulta ser económico, debido a

- ◇ generación y aprovechamiento de energía,
- ◇ los beneficios representados por mayores eficiencias en cuanto a la generación de energía,
- ◇ menores costos de mantenimiento y operación por trabajar con combustible limpio,
- ◇ los beneficios ambientales

Para terminar se presenta una tabla comparativa de los sistemas de incineración y gasificación, para observar de una manera más clara cuales son las ventajas de éste método.

**TABLA COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS  
DE INCINERACIÓN Y GASIFICACIÓN.**

<b>INCINERACION</b>	<b>GASIFICACION</b>
<i>Temperaturas de operación de 300 - 1600 °C, para los distintos tipos de residuos.</i>	<i>Temperatura de operación superiores a 1650 °C</i>
<i>Eficiencia de destrucción alta, sujeta a control estricto</i>	<i>Eficiencia de destrucción completa.</i>
<i>Un contenido de humedad alto en el residuo, afecta los requerimientos de energía</i>	<i>El proceso no se ve afectado por el contenido de humedad, ya que se inyecta vapor durante el proceso</i>
<i>Requiere de un estricto control para la remoción de dioxinas o PCB's, contenidos en el residuo o formados en la destrucción de residuos clorados</i>	<i>La atmósfera reductora evita la formación de dioxinas y PCB's, y por la alta temperatura, son destruidos totalmente</i>
<i>Los productos finales son gases de combustión y cenizas</i>	<i>Los productos finales son gases combustibles, vapor de agua, ácidos inorgánicos e inorgánicos en forma vitrea</i>
<i>Las cenizas son consideradas como residuos peligrosos y requieren de un confinamiento controlado</i>	<i>Los inorgánicos en forma vitrea tienen utilidad en la construcción, no se consideran peligrosos.</i>
<i>Descarga de los gases de combustión a la atmósfera, con posibles productos tóxicos</i>	<i>No hay descarga de gases a la atmósfera.</i>
<b>SISTEMA SUJETO A CONTROL DE RIESGOS AMBIENTALES</b>	<b>SISTEMA QUE MINIMIZA LOS RIESGOS AMBIENTALES</b>

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**



## BIBLIOGRAFIA.

1. Dra. Cristina Cortinas de Nava, **Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional.**, Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología.
2. Cristina Cortinas de Nava, Cuauhémoc Juárez Pérez, Rogelio Serrano Garza, Yolanda Ordaz Guillen, **Prevención y preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el mundo.**, Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología.
3. Yermakov, B.M. Zhitomirsky, and V.N. Popov **Some energetics problems of coal conversion processes under high power electron beams.** Materials Science monographs, 65 Chemistry and Energy - I, C.A.C. Sequeira, 1991
4. **Alternative technologies for the minimization of Hazardous Waste.** California Department of Health Services Toxic Substances Control Program Alternatives Technologies Division, pag. 80-86, Julio 1990
5. COPE, C.B., Fuller, W.H., Willetts, S.L. **The Scientific Management of Hazardous Waste**, Cambridge University Press, Massachusetts. 1983.
6. WENTZ, Charles A. **Hazardous Waste Management**, Chemical Engineering Series. Mc Graw Hill Publishing Company, New York, 1989. pp. 55-87.
7. La Grega, Buckingham, Evans, **Hazardous Waste Management**, Mc Graw Hill
8. Donald Q. Kern **Procesos de transferencia de calor.** C.E.C.S.A.
9. **Seminario sobre procesos térmicos para el tratamiento de residuos.** Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca & Instituto Nacional de Ecología
10. Bowden and E. Gorin. Alternative Energy Sources, Parte A, **Syntetic Fuels from Coal**, Proceedings of a Symposium on Alternative Energy Sources, held in Kuwait, Feb, 1980. Kuwait Foundation for advancement of Sciences.

11. Gerard M. Crawley *Energy, The transient Resource: Fossil Fuels* Michigan State University, 1975. Cap. 10
12. Eugene Meyer *Chemistry of it Materials* 2ª Edition Prentice Hall Cap. 1,4
13. Lucien Vivier *Turbinas de vapor y de gas* URMO, S.A. de Ediciones, 1975
14. Howard T. Odum, *Hombre y Naturaleza: Bases Energéticas* OMEGA, 1981
15. Taylor *Alternative Energy Sources* Adam Hilger Ltd, Bristol, 1983
16. Alan P. Jackman, Robert L. Powell *Hazardous Waste treatment technologies* Noyoes Publications, News Jersey USA, 1991. Cap. 2
17. Cristina Cortinas de Nava y Sylvia Vega Gleason *Residuos peligrosos en el mundo y en México*. Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología, 1993.
18. William Tedder and Frederick G *Pohland Hazardous Waste Management* ACS Symposium Series 518, 1993
19. Espitia Cabrera Alfonso *Control de contaminantes gaseosos en la combustión*. TESIS, UNAM 1976
20. Stanley E. Manahan, *Hazardous Waste Chemistry, toxicology and treatment*, Lewis Publishers, 1990
21. Harry M. Freeman *Hazardous Waste Minimización* Mc Graw Hill, 1990
22. *Procedings of the 45th Industrial Waste Conference May 8,9,10 1990, Purdue University*, Lewis Publishers
23. Dávalos Gonzalez Ma. Cecilia *Gestión de residuos en la producción de Energía* TESIS (IQ) 1991
24. Harry M. Freeman *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal* Mc. Graw Hill book Company, cap 4, 8
25. William S. Rickman *Handbook of Incineration of Hazardous Waste* CRC, Press 1990 cap. 7, 2, 4, 8

26. Richard A. Conway, Richard D. Ross ***Handbook of Industrial Waste Disposal*** Van Nostand Reinhold Environmental Engineering Series. Van Nostand Reinhold Company, 1980 cap. 9, 10, 13, 14
27. López Rincón Marco Antonio ***Introducción a los residuos industriales y a su disposición final***, TESIS IQ 1989
28. Robert A. Corbitt ***Standard Handbook of Environmental Engineering*** McGraw Hill, Inc. 1990 cap. 9
29. Ramos Dominguez José Marciano ***Recuperación de Energía en equipos de incineración de desechos sólidos*** TESIS, UNAM. (IQ) 1992
30. Gomez Solares Ana María & Maya Tello Martha Patricia ***Determinación Experimental de la Eficiencia de Colección de un Lavador de Gases tipo Venturi a nivel piloto*** TESIS UNAM 1991
31. Vega Pérez Hector, ***Residuos Industriales, problema vigente***, CONTACTO de Unión Empresarial, Nov. 1993
32. Perry, ***Manual del Ingeniero Químico***, 5ª Edición, Mac. Graw Hill Inc.

## Glosario usado dentro del área ambiental.

**AGUA SUPERCRITICA:** Tratamiento térmico que emplea temperaturas moderadas (mayores a 374°C) y altas presiones para intensificar la capacidad del agua, para romper cadenas orgánicas largas en otras más pequeñas y menos tóxicas. El oxígeno inyectado durante este proceso, se combina con compuestos orgánicos simples para formar dióxido de carbono y agua.

**AUDIENCIA PUBLICA ( PUBLIC HEARING):** Reunión formal de funcionarios de la EPA y el público, donde se expresan verbalmente los puntos de vista de ambos respecto a las acciones de EPA. EPA requiere de considerar los comentarios y sus evaluaciones al inicio de la toma de decisiones.

**CAMARA LIMPIADORA DE GASES:** En control de contaminación de aire, aparato en el cual las emisiones pasan a traves de agua alcalina para neutralizar el cloruro de hidrógeno. Las emisiones ácidas, son introducidas en agua alcalina en un cilindro que contiene materiales de empaque. El material de empaque provee una superficie adicional, donde la neutralización del gas ácido puede ocurrir.

**CODIGO DE REGULACIONES FEDERALES (CFR):** Una serie de documentos que contienen todas las regulaciones desarrolladas y finalizadas por las agencias de gobierno "RCRA". Las regulaciones están contenidas en el volumen 40 del código de regulaciones federales.

**COMBUSTION:** El quemado controlado de desechos. Durante la combustión el calor es usado para alterar químicamente los compuestos orgánicos en inorgánicos estables, como bióxido de carbono y agua.

**COMPUESTOS INORGÁNICOS:** compuestos que no contienen carbón, no o no contienen hidrógeno junto con carbón. Los compuestos inorgánicos incluyen metales, sales, oxidos de carbono (CO, CO<sub>2</sub>). Estos compuestos no combustionan en incineradores, no obstante, los incineradores pueden generar compuestos inorgánicos.

**COMPUESTOS ORGANICOS:** Compuestos que contienen carbono, hidrógeno y frecuentemente oxígeno. Estos compuestos son combustibles y pueden por lo tanto ser destruidos en un incinerador.

**CRETIB:** Características que identifican a un residuo como peligroso: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, y las biológico infecciosas.

**DIBENZOFURANOS:** Es un grupo de compuestos orgánicos de alta toxicidad. Las regulaciones ambientales han establecido reglas más estrictas en lo que respecta a su destrucción y remoción eficiente (**99.9999%**).

**DIOXINAS:** Estos compuestos encontrados comunmente en herbicidas son altamente tóxicos. Se requiere de la más alta eficiencia en destrucción y remoción (99.9999) que la requerida para la mayoría de los otros compuestos orgánicos.

**DISPOSITIVO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE:** Equipo que limpia las emisiones generadas por un incinerador. Este sistema remueve contaminantes (partículas, gases ácidos) que de otra manera serían enviados a la atmósfera.

**EPA:** Agencia de protección ambiental, en los E.U.A.

**EFICIENCIA DE DESTRUCCION Y REMOCION (DRE):** Es un porcentaje que representa el número de moléculas de un compuesto removidas o destruidas en un incinerador, relativo al número de moléculas que han entrado en el sistema de incineración de ese compuesto. Un DRE de 99.99 es conocido como un 4 nueves.

**EMISIONES FUGITIVAS:** Liberación de contaminantes vaporizados a la atmósfera que ocurre en todos los sitios donde se generan residuos peligrosos. Esas emisiones pueden ocurrir cuando los vapores son venteados de contenedores o tanques donde los residuos peligrosos son almacenados. Este tipo de emisiones pueden ser consideradas por derramamientos ocurridos durante las descargas de los residuos de los vehículos que los transportan, fugas a través de pipas y valvulas, o a través de la operación de equipo deficiente o en mal estado.

**ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO:** Requerimientos regulatorios específicos establecidos por EPA, que limitan las concentraciones de compuestos orgánicos definidos, partículas y cloruro de hidrógeno, en las emisiones de los incineradores. La aplicación de un permiso permite conocer si un incinerador puede alcanzar los estándares de funcionamiento bajo las condiciones específicas de operación indicadas en el permiso de RCRA.

**HSWA:** (Hazardous and solid waste amendments) Reformas de 1984 para residuos sólidos y peligrosos, son reformas hechas a la RCRA que expandieron los alcances de la regulación para residuos peligrosos. En el congreso de HSWA se determinó que EPA tomará las medidas para fomentar la reducción del riesgo a la salud humana y el ambiente, causado por los residuos peligrosos.

**IGCC:** (Integrated generation cycle combined) Sistema de ciclo combinado para la generación de electricidad. Significa que puede utilizar turbinas de gas en combinación con turbinas de vapor.

**INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO:** Un tipo de incinerador el cual emplea una cama de arena caliente u otro material granular para transferir calor directamente al residuo, dando como resultado la destrucción del mismo. Con frecuencia estos incineradores son usados en el tratamiento de lodos municipales.

**LGEEPA:** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

**LODO:** mezcla densa, pesada y turbia como fango, de sólidos y líquidos obtenidos como resultado del reposo de sólidos en un líquido.

**MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL:** Reporte detallado de los posibles efectos que un desarrollo o estructura por realizarse tendrán en el ambiente. Una "MIA" debe ser preparada por la agencia de gobierno, cuando una acción federal que pueda tener o tendrá un impacto ambiental significativo, es planeada.

**MINIMIZACION DE RESIDUOS:** procedimiento o técnica que reduce la cantidad de residuos generados durante los procesos de producción industrial.

**BPC'S:** Los bifenilos policlorados son compuestos altamente tóxicos. La incineración de BPC's es regulada bajo "TSCA", más que por "RCRA". Los incineradores utilizados deben obtener un DRE del orden de seis nueves.

**REDACTOR DE PERMISOS:** Los miembros del redactor de personal responsable de la evaluación para la aplicación de permisos y de redactar los permisos para una instalación. No obstante, el redactor de permisos no tiene la decisión final para aprobar o negar la aplicación de un permiso, el redactor de permisos evalúa el funcionamiento de los datos obtenidos en la aplicación y hace recomendaciones acerca de la aplicación del permiso.

**PIC's:** Productos de combustión incompleta, son compuestos orgánicos formados cuando ocurre la combustión. Estos compuestos se generan en muy pequeñas cantidades y en ocasiones son tóxicos. Los PIC's son versiones alteradas (por acción del calor) del material original que alimenta al incinerador.

**PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS:** aparato para el control de la contaminación del aire, usa cargas eléctricas para remover partículas de materia de las emisiones de gases. El proceso es similar a remover residuos de limaduras de metalo agujas con un iman.

**PRINCIPALES COMPONENTES ORGÁNICOS PELIGROSOS (POHC's):** componentes peligrosos específicos, monitoreados durante una prueba de incineración. Los POHC's, son seleccionados con base en su concentración alta en el residuo y por su dificultad para ser incinerados, en relación a otros componentes orgánicos contenidos en el residuo.

**RCRA:** (Resource conservation and recovery act of 1976) Acta de recuperación y conservación de recursos de 1976. Reforma a la primera legislación federal de los residuos sólidos, el acta de los residuos sólidos de 1965. En la RCRA, el congreso estableció directrices iniciales y lineamientos para que EPA regule los residuos peligrosos.

**REACTORES ARCO-PLASMA:** Un tipo de incinerador que opera con temperaturas extremadamente altas. Es efectivo para el tratamiento de residuos altamente peligrosos, que no se queman con facilidad.

**SISTEMAS MOVILES DE INCINERACION:** Incineradores de residuos peligrosos que pueden ser transportados de un sitio a otro para el tratamiento de dichos residuos. Estos sistemas permiten a los generadores de residuos peligrosos el tratar sus residuos "in situ", evitando el transporte de los residuos a una planta de incineración comercial.

**SISTEMA DE PARO AUTOMATICO DE RESIDUOS:** Dispositivo que para automáticamente la alimentación de residuos al incinerador cuando no se está trabajando de acuerdo con las condiciones especificadas en el permiso. Esas condiciones de operación son constantemente monitoreados para detectar las desviaciones a los rangos especificados en el permiso.

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO:** El uso de microorganismos como bacterias, para consumir y romper los residuos orgánicos. Los líquidos contenidos en los residuos orgánicos son mezclados con oxígeno, lo cual promueve la acción de los microorganismos y con ellos la destrucción de los materiales orgánicos.

**TRATAMIENTO TÉRMICO:** Es el uso de elevadas temperaturas para el tratamiento de los residuos peligrosos. El tratamiento térmico cambia la composición química y/o física del residuo. Este tipo de tratamiento incluye la incineración y la pirólisis.

**TSCA:** Acta para el control de las sustancias tóxicas. Estatuto federal bajo el cual se regula la incineración de BPC's.

**TORRE LIMPIADORA DE GASES DE PLATILLOS:** Un tipo de dispositivo para limpieza del aire, utiliza agua alcalina para neutralizar el gas cloruro de hidrógeno. El agua alcalina fluye abajo por una fina capa de platos metálicos, el gas es bombeado a través de orificios hacia los platos permitiendo que ocurra la neutralización de los gases ácidos.

**TRATAMIENTO QUÍMICO:** Una amplia categoría de tratamiento para residuos peligrosos en la que se emplean químicos para remover inorgánicos disueltos o para transformar a los componentes de los residuos en formas menos tóxicas.