



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

## CLASIFICACION Y PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN INVESTIGACION DE QUIMICA ORGANICA.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
Q U I M I C O  
P R E S E N T A :  
ALFREDO RIVAS MARTINEZ



MÉXICO, D.F.

2001



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:**

	Profesor
Presidente	Consuelo García Manrique
Vocal	Fernando León Cedeño
Secretario	Blas Flores Pérez
Primer suplente	Martha Menes Arzate
Segundo suplente	Daniel Mendez Iturbide

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio de química orgánica 223, posgrado,  
Facultad de Química, Edificio B

Asesor del tema:

  
\_\_\_\_\_  
M. en C. Blas Flores Pérez

Sustentante:

  
\_\_\_\_\_  
Alfredo Rivas Martínez

## **AGRADECIMIENTOS**

### *A mi familia*

*A quien agradecer este trabajo, sino es a mis padres que me han motivado y de quien he recibido todo su apoyo, a mis hermanas que han soportado mis cambios de animo, por esto mismo agradezco y doy gracias a DIOS, que me a obsequiado una familia que no cambiaria por nada del mundo.*

*A la familia Acosta Rosales, por el apoyo incondicionado que me ha otorgado a mí y a mi familia considerándonos parte de ella.*

*Todos tenemos momentos en que las  
Cosas no marchan bien... y cuando el  
Mejor remedio de todo sería simplemente  
Saber que en algún lugar hay alguien que  
Realmente te aprecia por ser la persona  
Maravillosa que realmente eres.*

*Anónimo*

*Al jurado por la revisión de este trabajo.*

*Dedicatoria especial al Profesor Fernando León Cedeño, por sus observaciones y paciencia en la revisión de este trabajo.*

*Al profesor Blas Flores Pérez, por su confianza brindada en el asesoramiento y desarrollo de este trabajo.*

*A Margarita, por esa alegría y entusiasmo que desborda su persona.*

*A la Profesora Maria del Carmen Pérez Vázquez, por brindarme la oportunidad de aprender cosas nuevas.*

*A la Doctora Carmen Giral Barnes, por permitirme colaborar con ella y dejarme aplicar los procedimientos que se describen en este trabajo.*

*A Caro, Edith y Liliana, que me brindaron su apoyo y me tuvieron paciencia durante mi estancia en el ex-laboratorio de tratamiento de residuos (223) de Posgrado de Química Orgánica.*

*A compañeras y compañeros de carrera y de generación con los que he convivido grandes momentos.*

*A los cuates del grupo 05 de la generación 94.*

*Por mencionar solo a algunos:*

*Amparito, Blanca, Greys, Oliva, CECI, Citalli, Eduardo, Arturo, Edgar, Jorge, Marcos, Miguel Ángel, Emilio, Pancho, Sergio (Pinky), y Alex.*

*Levántate y mira el sol por las mañanas y respira la luz del amanecer,*

*Tú eres parte de la fuerza de tu vida, ahora despiértate,*

*Lucha, camina, decídette y Triunfarás en la vida;*

*Nunca pienses en la suerte,*

*Porque la suerte es:*

*El pretexto de los Fracados.*

*Pablo Neruda.*

# CONTENIDO

CAPITULO		Pagina
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1	<b>ANTECEDENTES</b>	4
1.1	El ambiente	4
1.2	La Contaminación	4
1.3	Contaminante	4
1.4	Residuo peligroso	6
1.5	Origen de un residuo peligroso	7
1.6	Clasificación de residuos	7
1.7	Minimización de residuos	8
2	<b>IDENTIFICACIÓN DE UN RESIDUO PELIGROSO</b>	10
2.1	Las tres metas principales del procedimiento de muestreo y análisis	10
2.2	Caracterización y manipulación de residuos peligrosos	11
2.2.1	Procedimiento básico para la utilización de la tabla	13
2.2.2	Códigos de reacción múltiple	14
	Tabla 1. Combinación binaria de residuos peligrosos	15
2.3	Definiciones CRETIB	16
2.3.1	Corrosividad	16
2.3.2	Reactividad	16
2.3.3	Explosividad	17
2.3.4	Toxicidad	18
2.3.5	Inflamabilidad	19
2.3.6	Biológico Infeccioso	20
3	<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN RESIDUO PELIGROSO</b>	21
3.1	Homogeneidad	21
3.2	Color	22
3.3	Olor	23
3.4	Pruebas de combustión	24

3.4.1	Análisis de vapores	25
4	<b>MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>	28
4.1	Identificación	28
4.2	Almacenamiento	29
4.2.1	Contenedores	32
4.3	Recolección y transporte	35
5	<b>PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN</b>	37
5.1	Solidificación	37
5.2	Encapsulado	37
5.2.1	Microencapsulado	37
5.2.2	Macroencapsulado	38
5.3	Oxidación/reducción	38
5.3.1	Oxidación	39
5.3.1.1	Reactivos oxidantes	40
5.3.1.1.1	Hipoclorito de sodio	40
5.3.1.1.2	Peróxido de hidrógeno	41
5.3.1.1.3	Hipoclorito de calcio	42
5.3.1.1.4	Permanganato de potasio	42
5.3.2	Reducción	43
5.3.2.1	Reactivos de reducción	43
5.3.2.1.1	Dióxido de azufre	44
5.3.2.1.2	Borohidruro de sodio	44
5.4	Neutralización	45
5.5	Precipitación química	47
5.5.1	Precipitación de hidróxidos	50
5.5.1.1	Óxido de calcio vs Hidróxido de sodio	51
5.5.2	Precipitación de sulfuros	52
5.6	Biorremediación	55
5.7	Reciclaje y recuperación	55
5.8	Hidrólisis	55
5.9	Incineración	56



5 10	Confinamiento	57
6	<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE IDENTIFICACIÓN</b>	58
6 1	pH	58
6 2	Solubilidad en agua	59
6.3	Oxidantes	59
6.4	Peróxidos	59
6 5	Halógenos	60
6.6	Cromo VI	61
6.7	Sulfuros	62
6 8	Cianuros	63
6.9	Pruebas de compatibilidad	64
	<b>CONCLUSIONES</b>	66
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	67

## INTRODUCCIÓN

Como una preocupación primordial de muchos países (incluido el nuestro), por el cuidado y la conservación del medio ambiente, se han desarrollado trabajos que tienen por objeto disminuir la cantidad de materiales peligrosos que son descargados indiscriminadamente a los vertientes de ríos, barrancas, lagos, etc. con la consecuente contaminación de suelos, aguas y de todo el entorno ecológico<sup>1</sup>

Gran parte de los residuos peligrosos que se generan pueden ser aprovechados o reciclados. Los desechos que no se puedan reciclar deben almacenarse en confinamientos especiales controlados, y no deben mezclarse en los tiraderos con la basura doméstica ya que la mayor parte de los residuos peligrosos son compuestos que no existen en la naturaleza, por lo que es difícil que algún organismo los degrade, o bien que se incorporen a otros sistemas.

Cuando los residuos peligrosos, se tiran inadecuadamente se puede contaminar el agua del subsuelo. Esto se debe a que cuando llueve, el agua se filtra hacia las capas internas del subsuelo, arrastrando con ella las sustancias que puede llegar a disolver.

Como un dato de referencia, las industrias consumen el 22% del agua de la ciudad, y aproximadamente el 98% de los residuos peligrosos salen de las fabricas en estado líquido, formando aguas residuales, de éstas sólo el 1% recibe tratamiento y el resto se arroja al drenaje, por lo cual la contaminación provocada es muy grande, ya que algunos de los compuestos que desechan son altamente tóxicos, como el cromo, el mercurio y otros metales pesados, compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos, cianuros, arsénicos y antimonio.<sup>1,2</sup>

Un gran número de los residuos generados en los laboratorios de investigación y docencia tienen un destino incierto. Los líquidos acuosos y orgánicos volátiles son desechados por el drenaje, sin recibir algún tratamiento previo. Los sólidos y semisólidos son desechados en la basura de tipo doméstico, igualmente sin recibir algún tratamiento.

Cabe mencionar que los residuos no siempre son desechos de alguna síntesis o reacción, algunos son materias primas que por el tiempo, clima o factores externos han perdido sus características químicas, por lo que estas materias ya no son óptimas para usarse y por lo tanto también son desechadas.

Aunada a la creciente investigación que se da en el área de posgrado del Departamento de Química Orgánica en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, se generan paralelamente una gran gama de residuos químicos que se pueden considerar peligrosos.

Debido a la diversidad de los proyectos de investigación que se desarrollan dentro de cada laboratorio y a la cantidad tan pequeña de los residuos generados en cada proyecto, no se pueden realizar tratamientos específicos para cada residuo, ya que esto no sería viable para cada investigador, así como para el propio Departamento, ya que se desviarían recursos económicos, materiales y humanos en el tratamiento de los mismos. Por esta razón, lo que se sugiere es pasivar las características más peligrosas de cada residuo, cuando estos se generan, así como realizar una serie de pruebas fisicoquímicas para agrupar a los residuos con características similares, recolectar los disolventes sucios, residuos líquidos y sólidos en recipientes adecuados para su posterior tratamiento. Al realizar esto se reduciría el número de envases y de residuos generados.

Hay que tener en cuenta que el tratamiento y la disposición final de un residuo peligroso involucra la intervención de muchas personas, autoridades e incluso instituciones federales y privadas. Por lo tanto una adecuada disposición de los residuos generados beneficiara nuestra imagen ante otros departamentos e instituciones, publicas y privadas

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 EL AMBIENTE

¿Qué es el Ambiente?. Ambiente es todo aquello que rodea a un organismo incluyendo otros seres vivos, el clima, el suelo, etc.; En otras palabras, las condiciones necesarias para el desarrollo o el crecimiento. La definición aceptada en la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente es la siguiente: el conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados <sup>3</sup>

### 1.2 LA CONTAMINACIÓN

¿Qué es la contaminación?. Es el cambio de las características químicas, físicas o biológicas del aire, agua o suelo, que pueden perjudicar la salud, o impedir la sobrevivencia o las actividades de los seres vivos

### 1.3 CONTAMINANTE

¿Qué es un contaminante? Es toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere su composición o condición natural. Generalmente los contaminantes son introducidos en el ambiente en cantidades significativas, bajo la forma de aguas residuales, residuos sólidos, descargas accidentales, como consecuencia de algún desastre natural o como producto de un proceso de manufactura u otra actividad humana. Una sustancia contaminante puede ser un sólido, un semisólido, un líquido, un gas o bien partículas submoleculares <sup>3</sup>

Los contaminantes pueden ser clasificados siguiendo varios criterios:

a) Naturales o sintéticos. Son todos aquellos compuestos químicos que se producen de manera natural ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , etc.), o de manera sintética (hidrocarburos clorados, etc.), y que pueden causar algún trastorno en el ambiente. Algunas sustancias sintéticas no son biodegradables y pueden ser tóxicas y acumularse en los sistemas biológicos.

b) Según el efecto que un contaminante pueda tener sobre el hombre, un ecosistema completo o aun simple individuo, un órgano dentro de un individuo, un subsistema bioquímico o celular

c) Según sus propiedades (por ejemplo toxicidad, persistencia, movilidad o propiedades biológicas)

Una de las condiciones adversas que puede tener la presencia de contaminantes, es la toxicidad que estos representan para los seres vivos. La toxicidad se define como la alteración de los procesos biológicos normales por acción de algún componente extraño. Según el Acuerdo de Protección Ambiental del Reino Unido por sus siglas en inglés UKEPA, hay tres mecanismos principales por los que el organismo humano es afectado por contaminantes tóxicos:

1) Por su influencia sobre la acción enzimática que el contaminante tiene en el organismo.

2) Por que pueden combinarse químicamente con los constituyentes de las células. Por ejemplo la acción del monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) sobre la hemoglobina al interferir en el transporte de oxígeno a los pulmones.

3) A través de una acción secundaria originada por su presencia. Describe la tendencia de ciertas sustancias a bioacumularse en los tejidos de los organismos de acuerdo con las características hidrofóbicas o lipofílicas de los contaminantes

Los suelos contaminados pueden alojar diversas sustancias tóxicas, cuyas concentraciones pueden variar desde algunas partes por billón (ppb) de un solo contaminante, hasta altas concentraciones de una mezcla de varias sustancias.

#### 1.4 RESIDUO PELIGROSO

¿Qué es un residuo peligroso? Un residuo se puede definir como cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Aun cuando la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA) establece el término "residuo sólido", esta definición incluye residuos semisólidos, líquidos y gaseosos (USEPA, 1990) <sup>4</sup>

Por lo tanto se establece que un residuo peligroso es aquel que debido a su cantidad, su concentración y sus características físicas, químicas o infecciosas pueden

-Causar (o contribuir significativamente a incrementar) la mortalidad o bien enfermedades serias irreversibles, o que produzcan incapacidad (cáncer, quemaduras en tejidos, etc.).

-Poseer un peligro substancial o potencial para la salud humana (o el ambiente) cuando se tratan, almacenan, transportan o disponen inadecuadamente

Se identifica como residuo peligroso, a cualquier residuo sólido que presente una (o más) de las siguientes características:<sup>4,5,6</sup>

Corrosivo, Tóxico, Reactivo, Explosivo, Inflamable, y Biológico-infeccioso.

## 1.5 ORIGEN DE UN RESIDUO PELIGROSO

Un residuo peligroso se genera a partir de cualquier proceso de transformación de la materia en una síntesis de laboratorio y en todo tipo de industrias (extractivas-minera, petroquímica, automotriz, farmacéutica, química, metal-mecánica, textil, alimenticia, agricultura, energía y maquiladora), por mencionar algunas, en servicios hospitalarios, servicios comerciales y personales. Podemos indicar que cualquier proceso y/o desarrollo, trae consigo la generación de algún tipo de residuo peligroso.

## 1.6 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

Hay innumerables clasificaciones de residuos. Sin embargo, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- En general la mayoría de los residuos peligrosos se pueden clasificar en tres categorías generales: hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles y compuestos inorgánicos
- Por su origen: residuos hospitalarios sólidos urbanos o domésticos, industriales, nucleares, de la agricultura, etc.
- Por su forma. líquidos, sólidos, gases, semisólidos
- Por sus características: tóxicos, reactivos, corrosivos, inflamables, cancerígenos, biológico infeccioso, explosivo, etc.



- Por su definición legal: especial, controlado, domestico o industrial.

La clasificación de los residuos peligrosos no es una tarea fácil. La lista de materiales peligrosos creada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), contiene aproximadamente 250,000 especies. Sin embargo muchos de los materiales peligrosos, se identifican, etiquetan y clasifican de acuerdo a su facilidad de manejo, de operación y al empleo correcto de la tecnología para minimizar los daños al ambiente y a la salud.<sup>8,9</sup>

## 1.7 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

¿Qué es minimización de residuos? El término minimización de residuos peligrosos implica la reducción de los contaminantes en el lugar de origen, en otras palabras tratar de resolver el problema de raíz

La necesidad de estructurar un sistema de manejo de residuos peligrosos, empieza cuando estos se generan y continúan a través de una serie de etapas subsecuentes hasta su tratamiento y disposición final<sup>5,10</sup>

Este proceso consiste en una serie de acciones de manejo y control que involucran la coordinación de varias personas o grupo de personas.

La primera etapa en el sistema de manejo de residuos es la identificación de los mismos una vez que se generan. Una identificación adecuada dará mucha información para llevar a cabo su tratamiento y disposición final. Esto indica que el generador de un residuo debe identificarlo desde la primera etapa o proceso en que lo obtiene, una adecuada identificación del residuo nos orientará a buscar el tratamiento adecuado y saber como guardarlo en el caso de que no se realice el tratamiento inmediatamente después de su generación.

La identificación y caracterización de los residuos peligrosos juega un papel crucial en las operaciones cotidianas. El primer paso que se debe considerar es el de identificar el tipo de residuos generados, así como sus características de peligrosidad **CRETIB** (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico o Infeccioso)<sup>7</sup>

## 2. IDENTIFICACIÓN DE UN RESIDUO PELIGROSO

Si no conocemos el origen del residuo peligroso y por lo tanto no se ha clasificado y se procede a la caracterización del mismo, la cual empieza con la obtención de una muestra representativa del residuo colectada por un método de muestreo confiable y analizada por métodos de extracción y análisis apropiados, de tal manera que tengamos un resultado representativo del residuo.<sup>4,8</sup>

### 2.1 LAS TRES METAS PRINCIPALES DEL PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y ANÁLISIS SON:

a) Identificar preliminarmente la peligrosidad inherente del residuo. Esta peligrosidad necesita ser conocida para tomar las precauciones necesarias para prevenir accidentes en el manejo de los mismos. Por ejemplo, los residuos que son inflamables, reactivos, corrosivos o incompatibles con ciertos materiales, requieren de especial cuidado en su manejo, los residuos que son altamente solubles (sales inorgánicas principalmente) deben de ser protegidos de la lluvia. Los residuos que producen nubes de polvo explosivo se deben manejar de tal manera que el polvo sea minimizado.

b) Analizar detalladamente las características fisicoquímicas del residuo para manejarlo efectivamente. Los exámenes de caracterización pueden requerir pruebas de pH, punto de fusión, de ignición, solubilidad, propiedades toxicológicas, de inflamabilidad, de capacidad para reaccionar violentamente o generar gases tóxicos a condiciones ambientales, de corrosividad y de materiales adecuados de almacenamiento, métodos de tratamiento, contenido de cenizas, concentración de sustancias tóxicas (cloruros, sulfatos, cianuros, arsénicos, metales pesados, etc)<sup>5</sup>

c) Determinar, dentro de sus propiedades fisicoquímicas, la principal característica peligrosa que facilite la identificación del residuo.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN Y MANIPULACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las muestras y el análisis deben de satisfacer tres puntos <sup>5</sup>

- Identificar la peligrosidad inherente de los residuos
- Caracterizar una cantidad suficiente del residuo para permitir su manejo

eficiente.

- Encontrar una característica para facilitar la identificación y el embarque de los residuos.

En el transcurso de las distintas etapas de la manipulación de los residuos desde su generación, envasado, almacenamiento, colección y transporte, tratamiento o confinamiento, es necesario considerar su nivel de compatibilidad con diversos materiales de naturaleza también peligrosa

En la manipulación de residuos peligrosos siempre existe la posibilidad de derrames ocasionados por diversas causas, como la inadecuada elección de materiales de envasado, la mala calidad de los contenedores, la falta de cuidado en el transporte, etc., Por lo que es necesario tener la precaución de determinar la compatibilidad en la multitud de combinaciones de los diversos materiales derramados que pueden llegar a darse en el caso de derrames accidentales, así como el de reducir la cantidad de envases de residuos peligrosos que son compatibles para un mejor manejo

La tabla 1 (pagina 15) es una guía básica de combinaciones binarias de diversos grupos reactivos y de las consecuencias que se llegan a dar por dichas reacciones; como la generación de calor, fuego, generación de gases no flamables, tóxicos, inflamables explosiones, polimerización violenta, solubilización de sustancias tóxicas, etc.

La columna de la tabla se refiere, en primer término a 34 grupos de reactividad basados en sus grupos funcionales o clases químicas numerados del 1 al 34 y posteriormente a 7 grupos que se agrupan de acuerdo a su reactividad química y que están numerados del 101 al 107<sup>11</sup>

La hilera o fila en la parte inferior se refiere precisamente a los números de los grupos de reactividad numerados en la columna antes mencionada, dando como consecuencia la combinación binaria de cada uno de los 41 grupos con los demás de la lista

Combinando un grupo de reactividad que se mencione en la columna, con el número de la fila correspondiente al otro grupo, se obtiene la referencia para la localización de las consecuencias potenciales de las reacciones peligrosas y de cualquier combinación binaria de los grupos de reactividad de los residuos.

El resto de los cuadros de la tabla que se encuentran en blanco, indican que la combinación binaria es compatible. Así mismo cualquier código de reactividad en los cuadros indica las reacciones potenciales incompatibles que pueden resultar de la combinación de los grupos de reactividad de los residuos y que por tanto se requiere de tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

1. - Durante el almacenamiento se deben disponer en conjunto los materiales que sean compatibles entre sí, es decir cuya combinación accidental no ocasione reacciones peligrosas.

2. – Para los materiales peligrosos que sean envasados en recipientes reutilizados, se requiere que el material que se va a envasar en el contenedor, si no es el mismo que por lo menos sean compatibles

3 - Durante el transporte, carga y descarga del material, se requiere de un mayor número de precauciones ya que en estas actividades se tiene un mayor riesgo de provocar algún derrame, por lo que se debe cuidar de manera especial la compatibilidad de los materiales manejados.

Las consecuencias de una reacción potencial predichas por la tabla 1 (pagina 15), están basadas en reacciones de las sustancias químicas puras a temperatura y presión ambiente.

### **2.2.1 PROCEDIMIENTO BÁSICO PARA LA UTILIZACIÓN DE LA TABLA**

Paso 1: Para la combinación binaria de cualquiera de los grupos de reactividad, primero se debe buscar el grupo en la columna.

Paso 2: Encontrar el número del segundo grupo a combinar en la fila inferior.

Paso 3: Encontrar la intersección del cuadro de reacción para los dos grupos de reactividad.

Paso 4: Anotar el código o códigos de reacción descritos dentro del cuadro e identificar la probable consecuencia.

Paso 5: Cuando ningún código haya sido encontrado en el cuadro de reacción, los dos grupos de residuos se consideran compatibles, de lo contrario cualquier código de reacción que se encuentre anotado, implica que los residuos son incompatibles entre sí para ser mezclados o combinados

## 2.2.2 CÓDIGOS DE REACCIÓN MÚLTIPLE

En la tabla de compatibilidad de residuos peligrosos se encuentran escritos los códigos de reactividad que son los que indican que tipo de consecuencia, ya sea primaria o secundaria, contrae dicha combinación

Los códigos de reactividad y las consecuencias se enumeran a continuación:

código de reactividad	Consecuencia
<b>C</b>	Generación de calor
<b>F</b>	Fuego
<b>G</b>	Generación de gases no flamables o inocuos
<b>T</b>	Generación de gases tóxicos
<b>I</b>	Generación de gases inflamables
<b>E</b>	Explosión
<b>P</b>	Polimerización violenta
<b>S</b>	Solubilización de sustancias tóxicas
<b>D</b>	Reacción posiblemente peligrosa.

Por ejemplo, si dentro de un cuadro de combinación de grupos de reactividad, aparecen tres letras (C, F y E): la primera letra denota la causa inicial o consecuencia primaria peligrosa de una reacción binaria, la cual es en este caso la generación de calor. La segunda y terceras letras indican el resultado de consecuencias secundarias de producción de fuego y de explosión primaria. En algunos casos la tercera letra del código se refiere para consecuencias terciarias resultantes, tales como la formación de un gas tóxico como resultado de un fuego causado por la excesiva generación de calor.<sup>11</sup>





## 2.3 CARACTERISTICAS DE PELIGROSIDAD, DEFINICIONES CRETIB

### 2.3.1 Corrosividad

La corrosividad indicada por el pH, se escogió como una característica de identificación de un residuo peligroso debido a que los residuos con valores de pH altos o bajos pueden reaccionar peligrosamente o causar contaminantes tóxicos al combinarse con otros residuos. Como ejemplos de residuos corrosivos se encuentran los residuos ácidos y básicos como la sosa cáustica, que corroen al acero. La corrosión del acero es un primer indicador de que un residuo es peligroso ya que un residuo capaz de corroer el acero puede escapar de los tambores que lo contienen y liberar otros residuos

Un residuo presenta la característica de corrosividad si una muestra representativa del mismo tiene cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Es acuosa y tiene un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5
2. Es un líquido y corroe el acero a velocidades mayores de 6.35 mm (0.250 pulg.) por año a una temperatura de prueba de 55 °C (130 °F).<sup>12</sup>

### 2.3.2 Reactividad

La reactividad es una característica de un residuo peligroso, ya que los residuos inestables pueden provocar un problema explosivo en cualquier estado del ciclo del manejo de los residuos. Ejemplos de residuos reactivos incluyen el agua que proviene de compuestos orgánicos nitrados como el nitrotolueno y disolventes gastados con cianuro

Un residuo presenta las características de reactividad si una muestra representativa del mismo tiene cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Es normalmente inestable y presenta fácilmente cambios violentos sin detonación.
2. Reacciona violentamente con agua y cuando se combina con ella forma mezclas potencialmente explosivas, genera vapores, gases o humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar un desequilibrio ecológico y daños al ambiente.
3. Es un residuo que contiene cianuros o sulfuros, el cual cuando es expuesto a condiciones de pH entre 2 y 12.5 puede generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para representar un daño a la salud humana o al ambiente.
4. Es capaz de descomponerse fácilmente por detonación o bien reaccionar a presión y temperaturas normales
5. Es capaz de presentar reacciones de detonación si se somete a una fuente poderosa de iniciación o si se calienta bajo confinamiento.
6. Es capaz de producir radicales libres <sup>12</sup>

### 2.3.3 Explosividad

Un residuo presenta la característica de explosividad si una muestra representativa del mismo tiene cualquiera de las siguientes propiedades

1. Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno.
2. Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y una atmósfera de presión

### 2.3.4 Toxicidad

Un residuo es tóxico cuando al estar en contacto con un ser viviente es capaz de herir o en alguna forma dañar al organismo o inclusive puede llegar a producir la muerte. Estas sustancias tóxicas son peligrosas dependiendo de la forma y tiempo en que se exponga a la misma y así mismo la manera en la que se maneje.<sup>12</sup>

Efectos adversos tales como carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad son generalmente contraídos por el contacto con sustancias tóxicas. Estas propiedades intrínsecas definen a los materiales tóxicos. Sin embargo los términos "tóxico" y "peligroso" no son intercambiables. Las sustancias peligrosas pueden tener propiedades intrínsecas y extrínsecas. Por ejemplo, las propiedades extrínsecas de explosividad, inflamabilidad y reactividad *no están referidas a la toxicidad química. En suma, la toxicidad denota la capacidad de una sustancia para producir daño, mientras "peligroso" denota la probabilidad de que el daño resultará del uso o contacto con una sustancia.*

Se puede causar daño agudo a los humanos o a los animales cuando los residuos tóxicos son inhalados, ingeridos o absorbidos por el contacto con la piel. La toxicidad aguda es generalmente medida en términos de concentración de dosis letal (LD50) en el cual el 50% de la población de prueba morirá debido a la exposición de una sustancia en particular bajo una condición preescrita.

Se incluyen las siguientes categorías de materiales tóxicos.

**TÓXICOS CLASE A:** Son tóxicos extremadamente peligrosos como gases o líquidos de tal naturaleza que una pequeña cantidad del gas, o vapor del líquido, mezclado con aire es peligroso para la vida. Algunos ejemplos son el monóxido de carbono CO, el ácido Cianhídrico HCN, el fosgeno Cl<sub>2</sub>CO.

**TÓXICOS CLASE B:** Son tóxicos menos peligrosos como sustancias líquidas o sólidas, incluyendo pastas, semisólidos, diferentes a los de clase A o materiales irritantes, que se conocen por ser tan tóxicos al hombre como para provocar un daño a la salud durante la transportación de los mismos. Algunos ejemplos son las anilinas, o bien el arsénico.

### 2.3.5 Inflamabilidad

La inflamabilidad es la característica utilizada para definir como peligrosos a aquellos residuos que pudieran causar un incendio, durante el transporte, almacenamiento o disposición. Ejemplos de residuos inflamables incluyen aceites y disolventes gastados.

Un residuo presenta la característica de inflamabilidad si una muestra representativa del mismo tiene alguna de las siguientes propiedades:

1. Es un líquido que en solución acuosa contiene más del 24% en volumen de alcohol y tiene una temperatura de inflamación inferior a 60 °C (140 °F)
2. No es un líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, adsorción de humedad o cambios químicos espontáneos (bajo presiones y temperaturas normales)
3. Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes

### 2.3.6 BIOLÓGICO-INFECCIOSO

Un residuo biológico-infeccioso es aquel que presenta algún agente etiológico (virus, bacterias, hongos), la sangre y sus derivados (Plasma, Suero y paquete globular), Tejidos, Órganos, partes y fluidos corporales, Muestras biológicas para Análisis Químico, Microbiológico, Citológico o Histológico. Estos residuos contienen microorganismos viables y/o toxinas que causan (o pueden causar) una enfermedad en los seres vivos.

### 3. PRUEBAS FÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN RESIDUO PELIGROSO

Para la identificación y caracterización de un residuo, debe realizarse un análisis químico de las sustancias o compuestos orgánicos que lo constituyen. Este análisis deberá ser precedido por observaciones generales, en cuanto a la homogeneidad del material, color y olor.

#### 3.1 HOMOGENEIDAD

Si el residuo es sólido, la homogeneidad puede ser determinada hasta cierto punto, examinando una parte de éste con una lente de aumento o bajo un microscopio. La heterogeneidad de mezclas de constituyentes incoloros y coloreados, que aparentan ser homogéneas a simple vista, a menudo se revelan mediante una amplificación

Si el examen óptico indica que se dispone de una sustancia no mezclada, es ventajoso tratar de determinar el punto de fusión de la muestra, siempre que dicha muestra funda sin demasiada descomposición. Si se observa que algunas porciones de la muestra se funden a una temperatura considerablemente menor que el resto, entonces es muy probable que se trate de una mezcla. En el caso de que la muestra funda uniformemente, es decir dentro de un pequeño intervalo de temperatura, una pequeña porción de la muestra deberá ser recrystalizada y la determinación repetida. Si el incremento en el punto de fusión no es mayor de 1° el material puede ser considerado puro. Posteriormente se pueden consultar las tablas de puntos de fusión de compuestos orgánicos para determinar cuales compuestos tienen el punto de fusión observado.<sup>13</sup>

En caso de que exista una descomposición total de la muestra, no se podrá aplicar este método tan simple para limitar el número de posibilidades. Con los materiales que no pueden ser fundidos pero sí disueltos en agua o líquidos orgánicos, existe la posibilidad de probar su homogeneidad haciendo cromatogramas. En estos casos, los constituyentes de la solución se separan por adsorción. Estas pruebas tienen la ventaja de que son aplicables a grandes cantidades de muestra.

### 3.2 COLOR

Los análisis del color de una muestra son indicativos de la naturaleza de la misma, ya que la mayoría de los compuestos orgánicos son incoloros a la luz del día.

Cuando tenemos compuestos cromóforos, una persistencia del color, la formación de soluciones coloridas, los cambios de color o la desaparición del mismo es en algunas ocasiones de gran valor, especialmente junto con los resultados obtenidos en otras pruebas para grupos funcionales.<sup>13</sup>

Un color amarillo que persiste cuando el sólido se disuelve, indica la presencia de compuestos nitrados, nitrosados o azoados, o bien quinonas, quinonimidias, ortodicetonas, etc. Esta persistencia del color puede observarse ya que estos grupos son cromóforos.

Un color rojo, azul, amarillo o verde indica que el sólido puede contener ciertos compuestos organometálicos, especialmente sales normales o complejas. Si la muestra es sólida hay que observar su comportamiento al contacto con el agua, líquidos orgánicos, ácidos y bases.

### 3.3 OLOR

Como la gran mayoría de los compuestos orgánicos son inodoros, la percepción de un olor puede ser de gran ayuda. Entre los compuestos que exhiben olores característicos incluso a la temperatura ambiente, figuran compuestos como los descritos en la siguiente tabla:

Tipo de olor	Compuestos que lo producen
<b>Etéreo</b>	Acetato de etilo, etanol, acetona, acetato de amilo
<b>Aromático</b> a) Amigdalino b) Canfórico c) A limón	Nitrobenceno, benzaldehído, benzonitrilo Alcanfor, timol, safrol, eugenol, carvacrol Citral, acetato de linalol.
<b>Balsámico</b> a) Floral b) Liliáceo c) a vainilla	Antranilato de metilo, terpinol, citronelol. Heliotropina, estirona. Vainilina, anisaldehído.
<b>Almizclado</b>	Trinitro-iso-butiltolueno, almizcle, muscona
<b>Aliacéo</b>	Sulfuro de etilo
<b>Cacodílico</b>	Cacodílico, Trimetilamina
<b>Empireumático</b>	Isobutamol, anilina, cumidina, benceno, cresol
<b>Rancio</b>	Ac. valerico, Ac. caproico, metil-heptil-cetona.
<b>Narcótico</b>	Pindina, pulegona.
<b>Nauseabundo</b>	Indol y sus derivados (Escatol)

En algunas ocasiones el tipo de olor depende de la cantidad o de la concentración de la sustancia. Una comparación del olor con el de una pequeña cantidad del compuesto correspondiente puro puede servir de orientación



Sin embargo, las cantidades extremadamente pequeñas de ciertos compuestos pueden ser detectadas por sus olores y como el discernimiento del olor no es una prueba objetiva, sino que implica la capacidad olfativa del operador, de ahí que únicamente en el caso de materiales que despiden un olor muy intenso, existe la posibilidad de que puedan ser identificados por medio de pruebas químicas para aquellos compuestos cuya presencia ha sido detectada por las pruebas olfatorias.<sup>13</sup>

### 3.4 PRUEBAS DE COMBUSTIÓN

La prueba de combustión es realizada convenientemente colocando 1 o 2 mg de la muestra en una cucharilla de combustión y aplicando una llama por la parte inferior. Todo dentro de una campana de extracción para eliminar de forma controlada los gases liberados. Hay que hacer notar que si ocurre una explosión o detonación, podemos tener un residuo de compuestos nitrados, nitrosados, azoados o nitruros. Si este no es el caso, la prueba se repite con 5 o 20 mg y se observa si hay fusión, liberación de gases, etc. De vez en cuando se aplica la llama directamente al material desde arriba, de manera que arda antes de que se volatilice. Si la sustancia carboniza, la llama debe ser incrementada y finalmente se procede a calentar la muestra fuertemente.<sup>13</sup>

**Orientaciones importantes suministradas por las pruebas de combustión. El análisis de las pruebas de combustión permite inferir lo siguiente sobre el tipo de compuesto que se esta analizando:**

Tipo de compuesto	Prueba de combustion
-------------------	----------------------

Aromáticos	Arden con flama fuliginosa
Alifáticos inferiores	Arden con flama que casi no humea
Oxigenados	Arden con flama azulosa
Halogenados	Arden con flama fuliginosa
Polihalogenados	En general no se inflaman hasta que la flama se dirige directamente a la sustancia, la cual entonces hace fuliginosa la llama del mechero
Azucres y proteínas	Arden con olor característico

### 3.4.1 Análisis de vapores

Si las sustancias orgánicas no volátiles se calientan rápidamente con un acceso limitado de aire, ocurre una especie de destilación seca, la cual puede dar lugar a la formación de fases parciales. Como ejemplos de la formación de estas fases están la eliminación de agua de hidrólisis, el desdoblamiento pirolítico, la condensación, la oxidación, la reducción y las reacciones recíprocas entre los productos de desdoblamiento pirolítico, incluyendo la acción de los radicales libres.

Desde el punto de vista analítico, es importante hacer notar que se pueden originar productos que son fácilmente detectados en fase vapor mediante el contacto con papeles impregnados con los indicadores adecuados

Tales productos incluyen vapores ácidos o alcalinos, ácido cianhídrico, dicianógeno, acetaldehído, gases reductores o ácido sulfhídrico

Para realizar estas pruebas se utiliza un tubo de vidrio (4x0.5 cm), sostenido por un soporte de asbesto. Se colocan aproximadamente 1 o 2 mg de la muestra en el tubo, cuya boca se cubre entonces con un disco o una tira de papel impregnada con el reactivo húmedo. El fondo del tubo se calienta usando la flama del mechero, hasta que la muestra haya sido carbonizada.<sup>13</sup>

VAPORES	PAPEL IMPREGNADO CON EL REACTIVO, CAMBIO DE COLOR	
Ácidos volátiles	Rojo congo	azulea
Bases volátiles	Fenoltaleina	enrojece
Ácido cianhídrico	Acetato de bencidina y acetato de cobre	azulea
Dicianógeno	Cianuro de potasio-oxina	enrojece
Reductores	ácido fosfomolibdico	azulea
Ácido sulfhídrico	Acetato de plomo	ennegrece
Acetaldehido	Morfina y nitroprusiato de sodio	

Los desprendimientos prúlticos del ácido cianhídrico y del dicianógeno ocurren sorprendentemente en los compuestos orgánicos nitrogenados (tiourea, metilamina, anilina, etc.)

El acetaldehído puede ser detectado en los productos gaseosos de la pirolysis de compuestos que contienen los grupos ceto, (glucosa, alcohol polivinílico, rodamina B).<sup>13</sup>

## 4. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Un sistema de manejo de residuos peligrosos incluye cuatro etapas principales

- a) Identificación
- b) Almacenamiento
- c) Recolección y transporte
- d) Tratamiento y disposición final

### 4.1 IDENTIFICACIÓN

La primera etapa en el sistema de manejo de residuos peligrosos es la identificación de los residuos. Esta etapa se ve favorecida si el generador que es el que conoce las propiedades o características del residuo generado lo identifica adecuadamente. Se requiere tener un sistema seguro de manejo y almacenamiento de los residuos, hasta que estos puedan ser transferidos al lugar en el que serán tratados o dispuestos finalmente. Además, es importante asegurar la compatibilidad de los residuos almacenados con el fin de que no se desencadenen reacciones que puedan poner en riesgo la estabilidad de los residuos.<sup>5,7,14,15,16,17</sup>

La contaminación de materiales puros se puede evitar mediante el uso de un método adecuado de etiquetado de todos los materiales y delimitando claramente las áreas de almacenamiento de cada tipo de residuo peligroso. Las etiquetas incluirán información sobre los riesgos de manejo dentro del almacenamiento de residuos los compatibles, etc <sup>18</sup>

Los problemas de etiquetado de recipientes con residuos son muy comunes, ya que las etiquetas llegan a dañarse, deteriorarse o despegarse. Es necesario contar con personal que se encargue del etiquetado de los residuos

peligrosos y de disponer de un sistema para etiquetar los recipientes con el fin de cumplir con la regulación y la minimización de costos.

## 4.2 ALMACENAMIENTO

La segunda etapa en el sistema de manejo de residuos peligrosos es el almacenamiento del residuo inmediatamente después de su generación. Se entiende por almacenamiento a toda aquella acción enfocada a retener temporalmente residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección o se dispone de ellos.

El uso y manejo inapropiado de residuos líquidos inflamables es una de las primeras causas de incendio. Hasta donde sea posible, estos residuos no deben ser almacenados cerca de fuentes de ignición.

Los residuos de líquidos altamente inflamables, tales como el éter y la acetona no se deben verter o bombear de envases grandes a botes pequeños por el riesgo de fuego o explosión que presentan tales líquidos. Estos residuos se deben acumular en recipientes de un tamaño apropiado para su uso y para su recolección.

Cuando se está distribuyendo una sustancia que produce vapores, esto se debe hacer en una campana de extracción de sustancias químicas para evitar el riesgo potencial de ignición.

***a) Las recomendaciones esenciales para las áreas de almacenamiento de residuos peligrosos en general son:<sup>6,19</sup>***

1 - Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y almacenamiento de materias primas o productos terminados.

2. - Ubicarias en sitios donde se reduzcan los riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.
- 3 - Contar con muros de contención y fosas de retención para la captación de los residuos o de los lixiviados (fugas de residuos líquidos de los contenedores).
4. - Los pisos deberán ser de concreto, con un declive adecuado para inducir las fugas o derramamientos hacia las trincheras o canaletas y estas a su vez a las fosas de retención, las cuales deben de tener la capacidad de retener hasta un quinto de lo almacenado.
5. - Contar con pasillos lo suficientemente amplios, que permitan el paso de montacargas, así como el movimiento de grupos de seguridad y bomberos.
- 6 - Tener un sistema adecuado para la extinción contra incendio. En el caso de hidrantes, estos deberán ser clase C y contar con una presión mínima de 6 kg/cm<sup>2</sup> durante 15 minutos.
7. - Señalizar adecuadamente (mediante letreros alusivos) la peligrosidad de los mismos, en lugares y formas visibles
- 8 - Evitar almacenar juntos residuos peligrosos incompatibles.
9. - No almacenar residuos peligrosos en cantidades que rebasen la capacidad instalada

***b) El almacenamiento de residuos peligrosos en áreas cerradas debe requerir por lo menos de los siguientes puntos básicos***<sup>6,19</sup>

1. No deben de existir conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales a cualquier tipo de abertura que pudiera permitir que los líquidos fluyan del área protegida

2. - Las paredes deben de estar construidas con materiales no inflamables.

3. - Contar con la ventilación natural o forzada. En los casos de ventilación forzada debe de tener una capacidad de recepción de por lo menos 6 cambios de aire por hora.

4. - El área deberá estar cubierta y protegida de la intemperie, contando con iluminación a prueba de explosión

***c) El almacenamiento de residuos peligrosos en áreas abiertas techadas, además de lo indicado en las generalidades, debe contar con las siguientes condiciones:***

1. - No deben estar localizados en sitios por debajo del nivel del agua alcanzado en la mayor tormenta que se haya registrado en la zona, más un factor de seguridad de 1.5 m

2. - Los pasillos deben ser lisos y de material impermeable en la zona donde se guarden los residuos y de material antiderrapante en los pasillos.

3. - Contar con sistema de pararrayos

4. - La restricción principal del almacenamiento en área abierta no techada es la de no almacenar residuos peligrosos que produzcan lixiviados.



#### 4.2.1 ALMACENAMIENTO “CONTENEDORES”

Los contenedores ofrecen las ventajas de que siendo muy fáciles de transportar, tienen la posibilidad de manejar cualquier estado físico en el que esté el residuo, además de que se pueden clasificar u organizar adecuadamente y pueden ser guardados fácilmente en el punto de generación, para que ya estando llenos sean trasladados hasta el área de almacenamiento y esperar a ser transferidos a la siguiente etapa de tratamiento o disposición.

La mayoría de los contenedores son convenientes para cualquier tipo de residuo, ya sean líquidos, todos y hasta sólidos voluminosos. Los contenedores vacíos que han contenido otros materiales con anterioridad, pueden ser empleados para almacenar residuos siempre y cuando sean compatibles con el contenedor y con cualquier residuo anterior que no haya sido removido en su totalidad <sup>7</sup>

La compatibilidad del residuo con el contenedor es muy importante para que la integridad del mismo no se perjudique. Por ejemplo, un contenedor plástico no debería ser utilizado para almacenar residuos de disolventes.

El contenedor es una caja o cilindro móvil en el que se depositan para su manejo los residuos peligrosos. Algunas desventajas que presentan los contenedores son:

- Se derriban y dañan fácilmente.
- Se acumulan indiscriminadamente.

Enormes grupos de contenedores apilados dificultan la inspección adecuada de fugas o derrames por cualquier causa.

Existen distintos tipos de contenedores utilizados en la manipulación de los residuos de tipo peligroso. Algunos de ellos son llamados bidones, jerricales, cajas, envases compuestos y recipientes a presión.

El material de estos es muy variado, dependiendo del residuo a manejar, aunque los más comunes son de acero, aluminio, materiales plásticos, cartón y madera.

Los bidones son receptáculos cilíndricos con tapas y fondos planos, hechos de metal, cartón, plástico o madera contra chapada.

Los jerricales (porrones) son contenedores de metal, vidrio o plástico, de sección transversal rectangular o poligonal.

El tonel es un recipiente hecho de madera sin tratamiento especial, de sección circular, con paredes abombadas, constituido por duelas y fondos provistos de aros.

Las cajas son envases de caras rectangulares o poligonales continuas, hechas de metal, madera contra chapada, madera reconstruida, cartón, plástico u otro material apropiado.

Con el fin de establecer un lenguaje común entre las diversas instituciones nacionales e internacionales se ha establecido cierta nomenclatura para determinar la naturaleza de los envases utilizados en el manejo de los residuos peligrosos

Las claves que identifican a un envase están compuestas por un número y por una o dos letras según el caso

El número utilizado corresponde a las distintas categorías de contenedores

1	Tambos bidones
2	Toneles
3	Jerricales
4	Cajas
5	Sacos
6	Envases y embalajes compuestos.

Por su parte las letras subsecuentes a la categoría del contenedor indican la construcción del mismo:

A	Acero
B	Aluminio
C	Madera natural
D	Madera contra chapada
F	Madera reconstruida
G	Cartón
H	Plástico
L	Tela
M	Papel
P	Vidrio o porcelana

Los tanques son utilizados para el almacenamiento de residuos cuando estos son fácilmente manejados. Además de ofrecer la facilidad de ser inspeccionados adecuadamente para asegurar que no haya fugas o derrames.<sup>7</sup>

### 4.3 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

El modo más común de transportación de los residuos es vía terrestre. La peligrosidad asociada con las actividades de carga y descarga posee un mayor riesgo que el transporte en sí mismo. Sin embargo, si existe un medio de transportación adecuado, una amplia capacitación de las personas que manejan estos materiales, un empaque compatible y en buenas condiciones y vehículos apropiados para su transporte, el riesgo se reduce al mínimo.

Para asegurar las actividades de transportación es recomendable aplicar los siguientes controles:

- a) Las actividades de transportación de los residuos peligrosos deben ser sujetas a un permiso emitido por una autoridad reguladora, cuya principal responsabilidad es la de aprobar el sistema de manejo de residuos peligrosos; así como de las personas responsables del mismo. Así mismo, es conveniente que este organismo cuide del adecuado empaque de estos residuos, inspeccione los vehículos utilizados para su transporte y verifique la capacitación de las personas involucradas en el mismo.
- b) Cada vehículo destinado a la transportación de residuos peligrosos debe ser identificado usando el símbolo de peligrosidad adecuado de acuerdo a la norma o código correspondiente <sup>11</sup>
- c) Cada movimiento de residuos sobre vías comunicación debe de contar con un certificado de transporte que incluya preferentemente la siguiente información: <sup>17</sup>

- 1 - Datos del generador del residuo.
  - 2.-Nombre del residuo peligroso, así como la cantidad en unidades de masa o de volumen según sea su naturaleza.
  - 3.- Tipo de residuo enmarcado, si es un residuo corrosivo, altamente reactivo, explosivo, tóxico, inflamable, infeccioso o cualquier otra característica que determine su peligrosidad.
  - 4 -El sitio o ruta de disposición, es decir, si dicho residuo será reciclado, incinerado, almacenado para un tratamiento físico o químico posterior, confinamiento definitivo o alguna otra disposición.
  - 5.-Los datos del transportador, así como su número de autorización emitida por la autoridad reguladora, además del registro del vehículo utilizado.
  - 6.-Nombre del sitio de disposición, así como su número de licencia.
  - 7 -Fecha y horario de salida del origen y entrada al sitio de tratamiento o disposición subsiguiente.
- d) El transportador debe asegurarse de que tiene la información necesaria sobre el material que será transportado con el fin de formular un plan de emergencia de cómo actuar en el caso de un derrame accidental durante la transportación de cada residuo peligroso que este transportando, de tal manera que al ocurrir un evento de intoxicación, exposición, fuga, derrame, fuego o explosión, tenga el conocimiento sobre que acciones se deben tomar y a que autoridades debe darle aviso de lo sucedido<sup>14</sup>.

## 5. PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN MÁS COMÚNMENTE APLICADOS

Pueden utilizarse diversas tecnologías para tratar los residuos antes de su disposición final. El objetivo principal es la modificación de las propiedades físicas o químicas de los residuos para hacerlos menos peligrosos y de mejor manejo. Por medio de estas tecnologías, se puede reducir el volumen, disminuir la cantidad de sustancias tóxicas o bien eliminarlas. La elección de la mejor forma de tratamiento de residuos depende de factores como la disponibilidad y conveniencia de la disposición, facilidades de tratamiento y gastos<sup>20</sup>

### 5.1 SOLIDIFICACIÓN

Proceso que no necesariamente involucra una interacción química entre el residuo y agentes solidificantes, pero que enlaza mecánicamente a estos, siendo este proceso el complemento de la mayoría de los tratamientos descritos a continuación.

### 5.2 ENCAPSULADO

Los residuos contaminados con materiales pesados se tratan con agentes precipitantes (como óxido de calcio, sulfato de calcio, silicatos, poliésteres, asfalto, polietileno, urea-formaldehído, entre otros), lo cual los vuelve altamente insolubles, siguiendo a esto la adición de cementantes con lo cual se asegura la inmovilidad de los contaminantes en una matriz específica.

#### 5.2.1 MICRO ENCAPSULADO.

Los residuos contaminados con compuestos orgánicos, organometálicos, plaguicidas u otros, son tratados con materiales microporosos cerámicos y/o hule, generándose entre estos fuerzas atractivas suficientemente fuertes para ser clasificadas como absorción química

### 5.2.2 MACROENCAPSULADO

Con esta opción de tratamiento y disposición final en celdas, podrán ser manejados materiales sólidos que estuvieron en contacto o fueron contaminados con bifenilos policlorados (PCB's) en concentraciones de hasta 500 partes por millón (ppm). Los contenedores y materiales utilizados son sometidos a las más rigurosas pruebas de resistencia y ataques químicos para garantizar así la inmovilidad de los residuos contenidos.

### 5.3 OXIDACIÓN / REDUCCIÓN.

Se aplica a residuos contaminados con arsénicos, cianuros, cromo hexavalente u otros, son tratados con agentes químicos específicos, para que el producto de la reacción sea un material estabilizado por debajo de las concentraciones límites contempladas en la legislación ambiental.

Las reacciones de oxido-reducción son aquellas en las cuales el estado de oxidación de un reactivo aumenta, mientras el estado de oxidación del otro disminuye.<sup>21</sup>

Cuando se abstraen electrones de un ión, átomo o molécula, la sustancia se oxida, cuando los electrones se adicionan a una sustancia, ésta se reduce. Cuando los átomos metálicos se convierten a iones metálicos pierden electrones, o se oxidan.

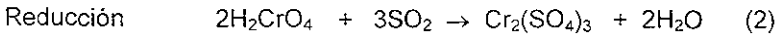
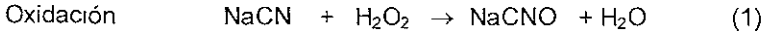
Si los iones metálicos toman electrones, se convierten al átomo metálico, entonces los iones se reducen.

Las reacciones de oxido-reducción ("redox") tienen un papel muy importante en el tratamiento de residuos, debido a que se utilizan en el tratamiento de residuos que contienen trazas de metales, sulfuros, cianuros y cromo, así como en el tratamiento de algunos compuestos orgánicos tales como fenoles, pesticidas, etc

## Principios

Como ya se mencionó, las reacciones químicas de oxido-reducción son aquellas en las que el estado de oxidación de un reactante aumenta y el estado de oxidación del otro disminuye

Dos reacciones muy comunes son:



En la reacción (1) el estado de oxidación del nitrógeno en el ión cianuro ( $\text{CN}^-$ ) se incrementó de  $-1$  a  $+1$ , y el estado de oxidación del oxígeno disminuye de  $-1$  a  $-2$ .

En la reacción (2) el estado de oxidación del cromo se redujo de  $+6$  a  $+3$ , y el estado de oxidación del azufre aumentó de  $+4$  a  $+6$ .<sup>11</sup>

### 5.3.1 Oxidación

La oxidación química es ampliamente usada para tratar residuos peligrosos y no peligrosos. Aún cuando la oxidación química es más apropiada para el tratamiento de líquidos, también se puede usar para suspensiones y lodos.

Debido a que los agentes oxidantes no son selectivos y representan la principal porción del costo del tratamiento, este tipo es más apropiado para residuos con un bajo contenido de compuestos orgánicos. Existe una gran variedad de agentes oxidantes



Los residuos orgánicos que se han tratado por oxidación química son: fenoles, aminas, mercaptanos y clorofenoles. Sin embargo algunos compuestos orgánicos son resistentes a la oxidación de la mayoría de los agentes oxidantes a temperatura y presión ambiente, por lo que probablemente requieran de un incremento de temperatura, el uso de un catalizador o de luz ultravioleta.

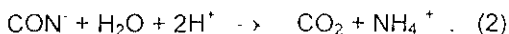
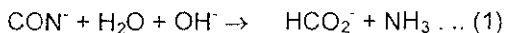
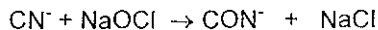
### 5.3.1.1 Reactivos Oxidantes

Aún cuando existen muchos compuestos químicos que son agentes oxidantes, sólo algunos de ellos se utilizan para el tratamiento de residuos. Estos oxidantes varían en el potencial de oxidación, conveniencia, costo y la formación de subproductos. Los agentes oxidantes más comunes son los siguientes:

#### 5.3.1.1.1 Hipoclorito de sodio

Probablemente, el hipoclorito de sodio es el agente oxidante más utilizado. En solución acuosa es fácilmente transportado, almacenado y cuantificado en el sistema de reacción.

Uno de los principales usos del cloro o de las soluciones de hipoclorito es para el tratamiento de residuos que contienen cianuros. El cianuro se oxida primero a cianatos a un pH alto, generalmente a 11. Si se calienta a ebullición, prosigue la hidrólisis originando el anión formiato y amoníaco (1). La disminución del pH a 6 convierte el cianato a bicarbonato y al ión amonio (2).

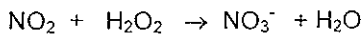
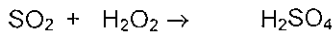
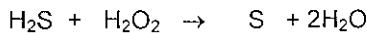
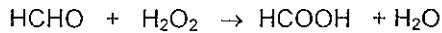
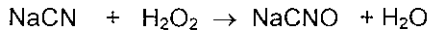


### 5.3.1.1.2 Peróxido de hidrógeno

Es un agente oxidante fuerte que libera oxígeno y calor durante su descomposición. Las soluciones a concentraciones altas requieren de precauciones de manejo

La mayoría de las aplicaciones industriales lo utilizan en concentraciones de 35% a 70% en peso, se utiliza principalmente para la oxidación en aguas residuales fenólicas.

Las soluciones de peróxido de hidrógeno pueden analizarse por su reacción con permanganato de potasio. Es un agente oxidante relativamente seguro y tiene aplicación en el tratamiento de muchos residuos industriales incluyendo cianuros, formaldehído, ácido sulfhídrico, dióxido de azufre, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno.



### 5.3.1.1.3 Hipoclorito de calcio

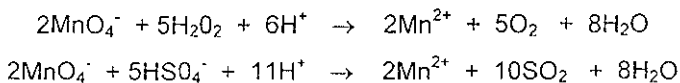
El hipoclorito de calcio contiene aproximadamente 65% de cloro, está disponible en forma de gránulos o en tabletas. Es fácilmente manejable y ofrece ventajas sobre otros oxidantes como el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio los cuales se encuentran en solución.

A temperaturas superiores a 177°C (351°F) se descompone rápidamente con evolución de oxígeno y calor. Si se mantiene por varios días a temperaturas más altas de 57°C(135°F) se descompone debido al oxígeno presente. Una interacción no controlada con sustancias orgánicas puede causar una reacción química que puede provocar un incendio de gran intensidad.

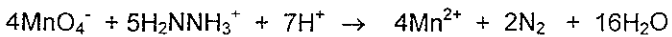
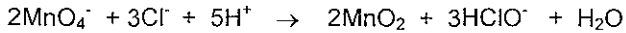
### 5.3.1.1.4 Permanganato de potasio

El permanganato de potasio se encuentra disponible en forma de cristales o gránulos purpúreos oscuros con una apariencia metálica. El permanganato de potasio es un oxidante fácilmente manejable y presenta poco peligro a la salud.

El permanganato de potasio se usa en solución acuosa. Se recomienda que se almacene en sitios fríos y secos ya que presenta reacciones violentas en condiciones no favorables, como por ejemplo cuando se combina con agentes reductores o cuando el permanganato seco se pone en contacto con compuestos orgánicos líquidos. Si el permanganato de potasio sólido se pone en contacto con ácido sulfúrico concentrado (o peróxido de hidrógeno) puede ocurrir una explosión



También puede reaccionar violentamente con, azufre elemental, fósforo, carbón, ácido clorhídrico, hidracina e hidruros metálicos. Se debe evitar el contacto del permanganato seco con todos los materiales orgánicos en condiciones no controladas.



### 5.3.2 Reducción

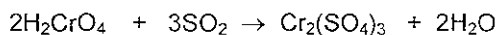
Los agentes reductores se usan para tratar residuos de cromo hexavalente, mercurio, compuestos órgano metálicos y los metales quelantes. El uso más frecuente es para el tratamiento del cromo hexavalente que se reduce a su estado trivalente menos tóxico. Este último puede removerse de soluciones acuosas por precipitación del hidróxido relativamente insoluble, para una posterior remoción.

#### 5.3.2.1 Reactivos de reducción

Aunque la reducción química puede llevar a los metales a su estado elemental para su recuperación, este proceso tiene aplicaciones limitadas. Algunos agentes reductores son <sup>8</sup>

### 5.3.2.1.1 Dióxido de azufre

La reducción se lleva a un pH bajo, controlándose este y el potencial de óxido-reducción por medio de un potenciómetro. El dióxido de azufre se prefiere en el tratamiento del cromo hexavalente, ya que se requiere de poca cantidad para su reducción. No presenta problemas de corrosión, así que los recipientes utilizados para tratar residuos acuosos son en su mayoría de acero revestidos de hule.

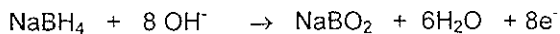


### 5.3.2.1.2 Borohidruro de sodio

El borohidruro de sodio, esta disponible en forma de gránulos al 98%. Su manejo debe ser extremadamente cuidadoso ya que al combinarse con agua libera hidrógeno y energía haciendo una atmósfera muy flamable.



El borohidruro de sodio se utiliza para tratar residuos con iones hidroxilo, de acuerdo a la siguiente reacción:



La que indica que un gramo mol de  $\text{NaBH}_4$  reducirá 8 gramos mol de ion metálico monovalente. Este también reacciona con cetonas, ácidos orgánicos (reducción al grupo ceto).

En general, los costos de tratamiento están muy influenciados por los costos químicos. Por lo tanto, los tratamientos de oxidación-reducción son más apropiados para bajas concentraciones (menos del 1%) en residuos.

#### 5.4 NEUTRALIZACIÓN.

La neutralización es el proceso químico en el que los residuos con características corrosivas son tratados con ácidos o bases según sea el caso, para convertirlos en sales y agua, quedando de esta manera eliminada su característica corrosiva.

Este es el tipo de tratamiento químico más común, ya que la corrosividad es una característica de muchos residuos y frecuentemente esta en función del pH. Ajustando la acidez o alcalinidad de un material a un intervalo neutro, puede eliminarse frecuentemente el peligro específico con el residuo. Este tratamiento no produce una destrucción efectiva del residuo, pero disminuye su peligrosidad y lo hace más apropiado para un posterior tratamiento adicional y una consiguiente disposición segura en el ambiente.

La neutralización es simplemente la interacción de un ácido con una base. En soluciones acuosas, la acidez y la alcalinidad se definen con respecto al pH, donde el  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  y a temperatura ambiente:  $\text{pH} = 14 + \log [\text{OH}^-]$ . En un sentido estricto, la neutralización es el ajuste de pH a 7, en que las concentraciones de iones hidrógeno e hidroxilo son iguales.<sup>22</sup>

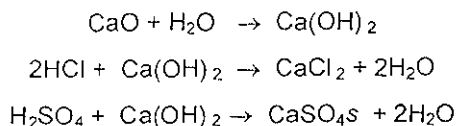
La neutralización de un residuo con características ácidas o básicas, involucra la adición de una sustancia química para cambiar el pH hasta un nivel neutro en el intervalo de 6 a 8. La adición del agente neutralizante se monitorea y

ajusta por mediciones del pH. En el tratamiento, el operador puede tomar muestras, medir el pH y adicionar la dosis requerida de ácido o de base.

La selección del agente neutralizante se realiza tomando en cuenta una serie de factores como el económico, la utilidad y compatibilidad del proceso.

El proceso de neutralización está sujeto a la influencia de la temperatura. Generalmente en las reacciones base-agua, el incremento de la temperatura de los reactantes aumenta la velocidad de reacción. En una neutralización, la interacción de un ácido con una base es una reacción exotérmica (incremento de temperatura).

Los productos de una neutralización pueden ser líquidos, sólidos, gases o una combinación de éstos. El estado físico del producto no está relacionado al estado físico de los reactantes, pero sí a su composición química y a su medio. Las especies químicas presentes en las reacciones de neutralización pueden incluir componentes originales del residuo, así como parte del agente neutralizante. Las concentraciones de las especies individuales dependen de la solubilidad de los productos formados durante la reacción. Por ejemplo, la neutralización del ácido clorhídrico con cal produce el cloruro de calcio disuelto como producto remanente en el líquido residual. Sin embargo, la neutralización del ácido sulfúrico con cal produce sulfato de calcio sólido, que se encuentra como suspensión o lodo en la reacción



## 5.5 PRECIPITACIÓN QUÍMICA

La precipitación química es un proceso por el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble ya sea por una reacción química o por cambios en la composición del disolvente para disminuir la solubilidad de las sustancias en él. Los sólidos precipitados pueden separarse por sedimentación y/o filtración. La precipitación comúnmente se usa para reducir la dureza del agua por remoción de calcio y magnesio. En el tratamiento de los residuos peligrosos el proceso tiene una amplia aplicación para la remoción de metales tóxicos de residuos acuosos.<sup>23</sup>

La precipitación es aplicable al tratamiento de los residuos peligrosos acuosos que contengan constituyentes tóxicos que puedan convertirse en insolubles.

Esto comprende residuos que contienen los metales arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

En el proceso de precipitación química se adiciona un precipitante químico al metal contenido en el residuo acuoso, lo cual se realiza en un tanque de reacción con agitación. Los metales disueltos se convierten en insolubles por una reacción química entre los compuestos metálicos solubles y el precipitante. Los sólidos suspendidos se separan por sedimentación.

La elección del reactivo es la primera consideración en la precipitación de metales pesados; la segunda consideración es la solubilidad, ya que la precipitación depende del producto de solubilidad del compuesto a precipitar.

Los precipitados que contienen un anión con propiedades básicas, un catión con propiedades ácidas o los dos, tendrán una solubilidad que depende del pH.



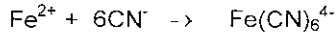
Debido a que la solubilidad se afecta por la temperatura, también es un factor importante en este tipo de reacciones

Al aplicar este tratamiento es importante considerar las siguientes reglas que indican la solubilidad de los compuestos inorgánicos comunes: <sup>22</sup>

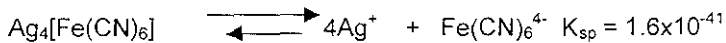
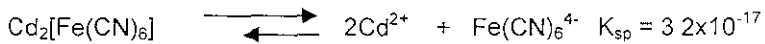
1. Las sales de sodio, potasio y amonio son solubles, así como los nitratos, nitritos, cloratos y acetatos; el nitrito de plata es relativamente poco soluble
2. Los sulfatos son insolubles, excepto los alcalinos, alcalinotérreos (calcio, estroncio, bario) y magnésicos.
3. Los cloruros, bromuros y yoduros son solubles, excepto los de plata, mercurio (I) y plomo; El yoduro de mercurio (II) es también insoluble.
4. Los fluoruros son insolubles, excepto los alcalinos y los de plata, bismuto, hierro (III) y estaño (IV).
5. Los cromatos son insolubles excepto los alcalinos y los de calcio, magnesio y zinc.
6. Los carbonatos, sulfitos, fosfatos, arseniatos, boratos y oxalatos son insolubles, excepto los de metales alcalinos. (Las sales insolubles de estos aniones son solubles en ácidos).

El estado de valencia también influye en el proceso. Por ejemplo, el ión ferroso es considerablemente más soluble que el ión férrico, por lo que se realiza un tratamiento con un agente oxidante para convertir el ión ferroso a férrico. Otro ejemplo, es el cromo hexavalente  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , que es mucho más soluble que la menos peligrosa forma trivalente. Los cromatos deben reducirse antes de separar el cromo trivalente por el proceso de precipitación.

Se debe considerar la posibilidad de que se formen complejos cuando se tratan aguas residuales que contengan amoníaco, fluoruro, cianuro o metales pesados. Por ejemplo, el hierro puede formar un complejo como ión ferrocianuro que es soluble y permanecerá en solución a menos que se pueda romper por tratamiento químico <sup>24</sup>



Este complejo puede presentar diferentes valores de solubilidad dependiendo de los cationes presentes y a las condiciones de reacción. Por ejemplo el ferrocianuro de cadmio presenta una constante de solubilidad de  $3.2 \times 10^{-17}$ , mientras que el ferrocianuro de plata tiene una constante de  $1.6 \times 10^{-41}$ , siendo menos soluble.



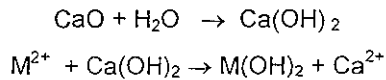
Existen diferentes precipitantes químicos para la remoción de los metales pesados de los residuos acuosos. La precipitación de hidróxidos utilizando óxido de calcio (cal) como agente precipitante es el método más empleado. La mayoría de los metales también pueden precipitarse como sulfatos y algunos de ellos como carbonatos

### 5.5.1 PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDOS.

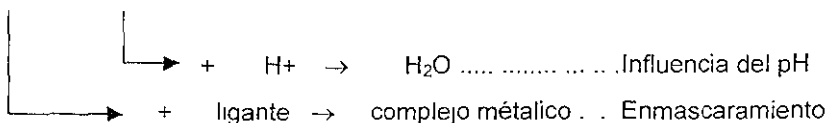
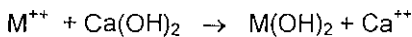
Hay dos razones por las cuales la separación de diversos elementos en forma de hidróxidos son muy utilizadas.<sup>22</sup>

- 1 Hay diferencias grandes entre las solubilidades de los hidróxidos metálicos.
2. La utilización de reguladores de pH permite ajustar el pH a un valor predeterminado y constante con objeto de efectuar la separación.

La precipitación de hidróxidos utiliza como precipitante el óxido de calcio (cal) o hidróxido de sodio (sosa cáustica) para remover los metales como hidróxidos metálicos insolubles. La reacción se ilustra por la siguiente ecuación, para la precipitación de metales divalentes usando cal:



Los niveles de concentración del efluente aceptables para la precipitación de hidróxidos dependen de los metales presentes, el precipitante empleado, las condiciones de reacción, especialmente el pH y la presencia de otros materiales que pueden inhibir la precipitación.



Los hidróxidos metálicos son anfotéricos. Por ejemplo, su solubilidad se va incrementando a valores de pH bajos y altos, por lo tanto el punto de mínima solubilidad (pH óptimo para la precipitación) se presenta a diferentes valores de

pH para todos los metales. A un pH donde la solubilidad de un hidróxido metálico puede ser mínima, en otro puede ser relativamente alta. En la mayoría de los casos un pH seleccionado entre 9 y 11, sobre la base de pruebas o experiencia en el tratamiento de residuos, produce resultados aceptables.

Una aplicación de este método de precipitación de hidróxidos se utiliza para precipitar el cromo, aunque éste requiere de un pretratamiento para reducir el cromo hexavalente a su forma trivalente y poder así incrementar el pH hasta aproximadamente 8 para precipitar el hidróxido crómico.

Para residuos que contengan varios metales, puede requerir más de un estado de precipitación con diferentes puntos de control de pH para remover todos los metales de interés

### **Óxido de calcio vs. Hidróxido de sodio**

Se puede utilizar el óxido de calcio (cal) o hidróxido de sodio (sosa cáustica) como fuente de iones hidróxido para la precipitación de hidróxidos metálicos. Las diferencias que deben considerarse para realizar un criterio de selección son las siguientes.

- a) La sosa cáustica es más costosa que la cal. Sin embargo, es más fácil su manejo y alimentación, la cal debe triturarse y estar en suspensión para su uso
- b) El precipitado formado por la precipitación cáustica generalmente no sedimenta y se deshidrata tan bien como los formados por la cal

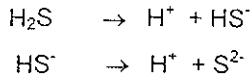
Por estas razones, la elección de cal o sosa para la precipitación de hidróxidos no debe hacerse únicamente sobre la base de costos de los sistemas

químicos. Se deben realizar pruebas para determinar las diferencias en la facilidad de sedimentación y deshidratación en los lodos y el manejo de estos.

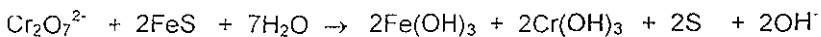
### 5.5.2 PRECIPITACIÓN DE SULFUROS

La separación de los cationes a través de su precipitación como sulfuros se fundamenta en los mismos principios que la separación de éstos como hidróxidos.

- 1.- Existen enormes diferencias entre las solubilidades de los sulfuros
- 2.- El equilibrio del sulfuro de hidrógeno está marcadamente influenciado por el pH de la disolución. Ajustando el pH de esta se puede controlar la precipitación de los sulfuros.



La precipitación de los metales como sulfuros, posee una ventaja frente a la precipitación de los hidróxidos metálicos correspondientes, ya que las solubilidades de los sulfuros metálicos son menores que las correspondientes a los hidróxidos metálicos (tabla1), los sulfuros metálicos no son anfotéricos y la remoción del cromo hexavalente se realiza por medio de la reducción y precipitación del cromo como hidróxido en un paso simple:



Se utilizan varias fuentes de sulfuros, como el sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) o el hidrosulfuro de sodio ( $\text{NaHS}$  que son solubles) y el sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$  que es poco soluble,  $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-18}$ )

Tabla 1

Catión Metálico	Ksp OH <sup>-</sup>	Ksp S <sup>-2</sup>
Ba <sup>2+</sup>	Ba(OH) <sub>2</sub> 1x10 <sup>-4</sup>	
Cr <sup>3+</sup>	Cr(OH) <sub>3</sub> 5.2x10 <sup>-20</sup>	
Cu <sup>+</sup>	CuOH 1x10 <sup>-4</sup>	Cu <sub>2</sub> S 2.5x10 <sup>-48</sup>
Cu <sup>2+</sup>	Cu(OH) <sub>2</sub> 2.2x10 <sup>-20</sup>	CuS 6.3x10 <sup>-36</sup>
Cd <sup>2+</sup>	Cd(OH) <sub>2</sub> 2.5x10 <sup>-14</sup>	CdS 8.0x10 <sup>-27</sup>
Fe <sup>2+</sup>	Fe(OH) <sub>2</sub> 8.0x10 <sup>-16</sup>	FeS 6.3x10 <sup>-18</sup>
Fe <sup>3+</sup>	Fe(OH) <sub>3</sub> 4.0x10 <sup>-38</sup>	
Pb <sup>2+</sup>	Pb(OH) <sub>2</sub> 1.2x10 <sup>-15</sup>	PbS 8.0x10 <sup>-28</sup>
Hg <sup>+</sup>	Hg <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> 2x10 <sup>-24</sup>	Hg <sub>2</sub> S 4 x10 <sup>-53</sup> rojo 1.6x10 <sup>-52</sup> negro
Ni <sup>2+</sup>	Ni(OH) <sub>2</sub> 2x10 <sup>-15</sup>	□-NiS 3.2x10 <sup>-19</sup> □-NiS 1.0x10 <sup>-24</sup> □-NiS 2.0x10 <sup>-26</sup>
Ag <sup>+</sup>	AgOH 2.0x10 <sup>-8</sup>	Ag <sub>2</sub> S 6.3x10 <sup>-50</sup>

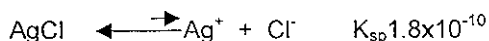
Una desventaja de la precipitación de sulfuros es la generación del ácido sulfhídrico gaseoso que es tóxico. Para evitar su evolución se debe cuidar y mantener el pH arriba de 8. Aun si el pH es alcalino, el ácido sulfhídrico puede eliminarse por medio de una hidrólisis rápida donde la sal de sulfuro soluble se adiciona al agua.

Una segunda desventaja de la precipitación de sulfuros es la liberación del exceso de sulfuro en el residuo, el cual requerirá de un tratamiento posterior (En la remoción de un residuo peligroso como lo es el Cr<sup>VI</sup> se genera un residuo menos peligroso al cual debemos de darle tratamiento para su disposición final)

Existen otros procesos de precipitación que pueden considerarse para tratar residuos que contienen compuestos metálicos específicos, especialmente donde los residuos contienen un metal particular y se desea su recuperación.

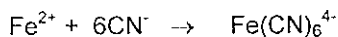
Entre éstos se encuentran los siguientes: los cationes trivalentes como el hierro, aluminio y cromo pueden removerse selectivamente de una solución que contenga cationes divalentes y monovalentes por precipitación en forma de fosfatos ( $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$   $K_{sp}$   $3.4 \times 10^{-23}$ ,  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$   $K_{sp}$   $1.3 \times 10^{-37}$ ), el bario puede precipitarse como sulfato de bario que es estable e insoluble ( $\text{BaSO}_4$   $K_{sp}$   $1 \times 10^{-10}$ ) además de ser no-peligroso.

El selenio, puede removerse por precipitación como sales de hierro insolubles ( $\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3$   $K_{sp}$   $2.0 \times 10^{-32}$ ), y la plata puede precipitarse de la solución como cloruro de plata insoluble ( $\text{AgCl}$   $K_{sp}$   $1.8 \times 10^{-10}$ )

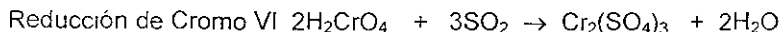
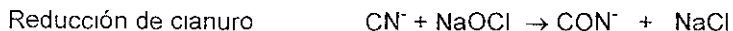


Muchos residuos que contienen metales y que son tratados por precipitación, también pueden contener cianuro, el cual debe removerse no solo por los requerimientos de disposición sino por que éste actúa como un agente complejante que inhibe la precipitación. Los residuos que contienen cromo hexavalente no pueden tratarse directamente por una precipitación de hidróxidos, ya que primero debe reducirse a su forma trivalente

El cianuro forma un complejo muy estable con el hierro II



El cianuro puede tratarse previamente por cloración alcalina (ver reducción de cianuro) y el cromo hexavalente puede reducirse a cromo trivalente por un agente reductor como el dióxido de azufre a un valor de pH bajo.



## 5.6 BIOREMEDIACIÓN.

Es un proceso por el cual microorganismos digieren y transforman los contaminantes en productos orgánicos degradables rápidamente y sin causar efectos dañinos al ecosistema. La biorremediación se puede ofrecer en el sitio del generador por ejemplo en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

## 5.7 RECICLAJE Y RECUPERACIÓN.

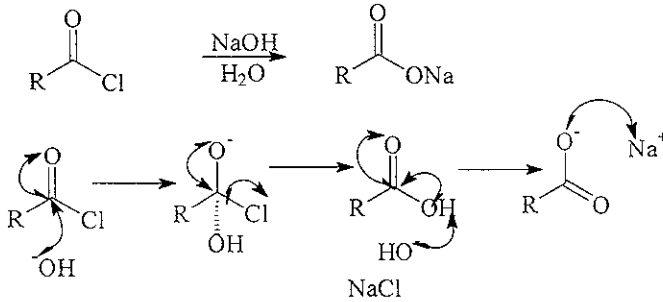
Aquellas corrientes de disolventes gastados, que presentan posibilidades de recuperación son separados y purificados, obteniéndose disolventes limpios que pueden ser rehusados.

## 5.8 HIDRÓLISIS.

Residuos contaminados con hidrocarburos halogenados y/o plaguicidas son tratados mediante un proceso químico que consiste en la ruptura molecular de los constituyentes en el medio ácido o alcalino controlado. Por ejemplo los cloruros



de acilo se hidrolizan al calentarse con agua, la reacción es acelerada por la adición de una base (hidróxido de sodio NaOH)



## 5.9 INCINERACIÓN

El tratamiento de incineración presenta problemas similares al reciclaje. Debido a que este tratamiento genera cenizas que pueden ser tóxicas, estas se tendrán que enviar a un confinamiento controlado.

Aún los incineradores que destruyen el 99.9% del residuo, generan cenizas que corresponden al 3 ó 4% del volumen alimentado.

La incineración se debe realizar en atmósferas oxidantes a temperaturas mayores a 800°C para desintegrar los productos orgánicos hasta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y cenizas. Los hornos deben contar con trampas en las chimeneas para eliminar los gases ácidos que se generen, como: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HX y CO.

## 5.10 CONFINAMIENTO

El producto final de los tratamientos a los que se sometieron los residuos, sigue siendo peligroso ya sea por que posee un bajo poder calorífico, y no puede ser tratado por incineración, o en algunos casos presenta halógenos que no pueden ser tratados por métodos físicos y químicos tradicionales, o son incompatibles, o bien puede contener metales pesados que no pueden removerse. Ante esto los productos finales se deben enviar debidamente identificados a plantas de estabilización y confinamiento de residuos industriales llamándose a esto disposición "final" o confinamiento.

Esta debe ser la última alternativa de manejo de un residuo ya que tiene un alto costo y de alguna manera es una "solución temporal".

## 6. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE IDENTIFICACIÓN

Este documento no indica la forma de tratar todos los residuos generados en investigación, pero sí la de identificar y pasivar algunas de las características más peligrosas y tóxicas de los residuos generados. Con base a la realización de tratamientos físicos y químicos para disminuir la reactividad y de agrupar los residuos sólidos y líquidos, generados en la División de Estudios de Posgrado del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, se proponen los siguientes análisis y pruebas físicas para identificar, caracterizar y en su caso pasivar un residuo o grupo de residuos.

### 6.1 pH

#### Análisis :

Se impregna un pedazo de papel tornasol, con una gota de la muestra, se observa la coloración del papel, si es azul índigo esto indica que la muestra tiene un pH básico, si tiene una coloración roja indica que tiene un pH ácido y si es amarilla la muestra tiene un pH neutro.

#### Tratamiento :

Neutralizar según el caso hasta pH 7-8. Se pueden usar ácidos y/o bases residuales para neutralizar. Si la neutralización se realiza en un medio acuoso, las sales formadas y el agua pueden ser desechadas por el drenaje, siempre y cuando las sales sean bastante solubles. Si la neutralización fue realizada en un disolvente orgánico se puede realizar la prueba de solubilidad y compatibilidad para reunir los residuos con características similares.

## 6.2 Solubilidad en agua

### Análisis :

Se coloca en un tubo de ensaye 1 ml de la muestra y se agrega 1 ml de agua, se agita para posteriormente observar si la muestra es miscible con el agua. Si esto ultimo ocurre, se dice que la muestra es soluble en agua. En caso contrario la muestra es insoluble en agua.

Esta prueba nos sirve para reunir residuos líquidos con características similares.

## 6.3 Oxidantes

### Análisis :

Se toma una tira de papel Yoduro-almidón y se humedece con una solución de HCl 3M, se espera 2 min. y se agregan una o dos gotas de la muestra. Si el papel vira de su color blanco-café a azul o negro se considera positiva

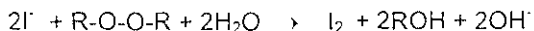
### Tratamiento :

Tratar el residuo con sulfato ferroso acuoso al 10%, repetir la prueba de análisis hasta obtener la prueba negativa. Entonces se puede agrupar o desechar el residuo.

## 6.4 Peróxidos

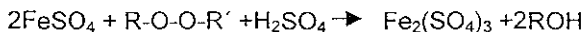
### Análisis :

Se toma una tira de papel impregnada con una solución de yoduro de potasio y se humedece con una solución de almidón y se deja secar. Se le adiciona una o dos gotas de la muestra problema. Al gotear la muestra impregnada con agua, si aparece una mancha parda que vira a azul, la prueba es positiva <sup>13</sup>



**Tratamiento :**

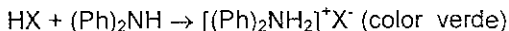
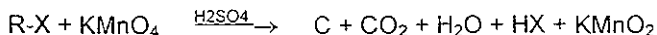
Se trata con sulfato ferroso en medio ácido.



Posteriormente se realiza una neutralización

**6.5. Halógenos**

Si los compuestos orgánicos halogenados se calientan con una mezcla de permanganato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, ocurre una descomposición oxidativa con la producción del halógeno libre. Este, como otros oxidantes fuertes, convierte a la difenilamina, disuelta en ácido sulfúrico concentrado en un compuesto quinoide azul. No obstante, si una solución saturada de difenilamina en acetato de etilo que contenga un poco de ácido tricloroacético es utilizada, únicamente el cloro da una coloración azul. El bromo y el yodo producen un color amarillo

**Análisis :**

Solución A. En un vaso de precipitado se pesa 0.5 g de ácido tricloroacético se le adicionan 10 ml de una solución saturada de difenilamina en acetato de etilo, la solución recientemente preparada es incolora y permanece así durante varias horas, luego vira a azul verdoso.

Se coloca una pequeña cantidad del material sólido a ensayar ó 0.5 mL de su solución en un tubo de ensayo. Se introducen unos cuantos mg de  $\text{KMnO}_4$  y 2 ó 3 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  6N, la boca del tubo se cubre con un disco de papel filtro humedecido con la solución del reactivo A, recién preparada. El tubo de ensayo se

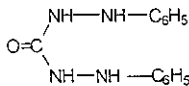
sumerge en agua hirviendo. La aparición de una mancha azul verdosa en 2 o 3 minutos, demuestra la presencia de cloro. Si la cantidad de cloro es pequeña la mancha es gris violeta.

### Tratamiento :

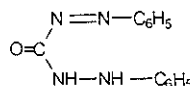
A las muestras que dieron prueba positiva se les realiza la prueba de compatibilidad, para disminuir el número de recipientes, y sean enviadas a incinerar en hornos con trampas de gases, si tienen bajo poder calorífico deben de ser etiquetadas perfectamente para ser confinadas

## 6.6 Cromo VI

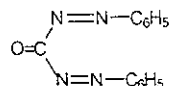
Las soluciones fuertemente ácidas de los cromatos reaccionan con la difenilcarbocida (I) dando una coloración violeta, aunque solo vestigios de  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  estén presentes. Se dice que la reacción colorida involucra una acción que no ha sido observada en otros casos. el cromato, en solución ácida, oxida la difenilcarbocida (I) inicialmente, transformándola en difenilcarbazona incolora (II) y luego en difenilcarbadiazona amarilla clara (III)



( I )

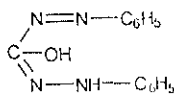


( II )

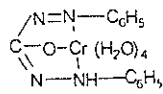


( III )

Sin embargo, a diferencia de todas las otras reacciones redox conocidas por el ion cromato, no hay producción de iones cromosos, éstos dan una sal interna compleja (V) rojo violeta por acción de la forma enólica (IV) de la carbazona.



( IV )



( V )

La formación de una sal interna compleja de cromo II se muestra por el hecho de que las sales cromosas reaccionan, con la carbazona solamente y no con la carbacida o la carbadiazona dando un color violeta.

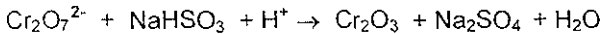
Consecuentemente, este es un caso único en el que la formación de un complejo no sólo estabiliza un estado de valencia anómalo, sino que también da lugar a una reacción redox anómala

#### **Análisis :**

Se coloca 1ml de la muestra en un tubo y se adiciona 1 ó 2 gotas de una solución alcohólica de difenilcarbazona al 1%. La prueba es positiva cuando se observa una coloración rojo-violeta.<sup>24</sup>

#### **Tratamiento :**

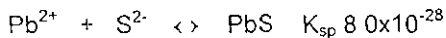
El residuo se trata con bisulfito de sodio para reducir el Cr<sup>VI</sup> a Cr<sup>III</sup>.



### **6.7 Sulfuros**

#### **Análisis :**

Se coloca 1 ó 2 mL de muestra en un tubo, se adicionan 2 ó 3 gotas de ácido acético, a continuación se agrega una solución saturada de acetato de plomo y se calienta 1 ó 2 min. La prueba es positiva si se forma un precipitado negro



#### **Tratamiento :**

Se trata la muestra con hipoclorito de sodio



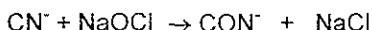
## 6.8 Cianuros

### Análisis :

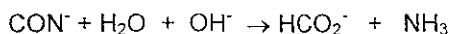
Se toma 1 ml de la muestra en un tubo y se adicionan de 0.5 a 1 ml de una solución saturada de sulfato ferroso se agita y se acidula con 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 30%. Es positiva si se observa un color azul.

### Tratamiento :

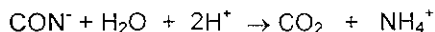
Se trata con Hipoclorito de sodio para oxidar al ión cianuro a cianato



El cianato se puede hidrolizar, aumentando el pH a 11 dando formiato y amoniaco



O bien al disminuir el pH el cianato se convierte a bióxido de carbono y ión amonio



## 6.9 Pruebas de Compatibilidad

Consisten en agrupar las muestras que tienen resultados de análisis iguales y mezclar 2 o 3 mL entre sí para observar si no hay cambios en la temperatura, aumento mayor a 1°C, y/o presenten reactividad con evolución de gases o detonación

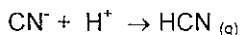
En términos generales "compatibilidad" se refiere a la habilidad de dos o más materiales en cercana asociación, con otro igual, sin la formación de reacciones químicas o cambios físicos perjudiciales, ya que la incompatibilidad



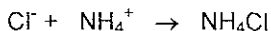
entre dos sustancias químicas cuando se combinan pueden producir una o varias de las siguientes reacciones: fuego, explosión o la producción de gases tóxicos.<sup>19</sup>

Algunos ejemplos son:

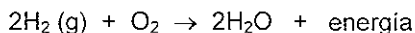
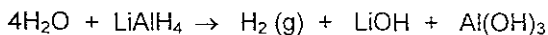
Ácidos + solución de cianuros = gas cianuro



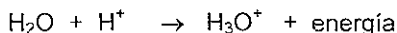
Compuestos clorados + amonio = gas cloruro de amonio



Agua + hidruro de litio y aluminio = El fuego se dificulta para extinguirse



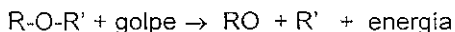
Agua + ácido fuerte = Solución peligrosa por desprendimiento de calor



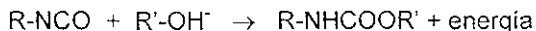
Material orgánico + oxidante fuerte = Fuego



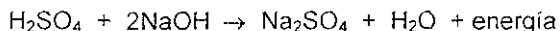
Éter + golpe o fricción = explosión



Isocianato + alcohol = Polimerización violenta



Ácidos fuertes + bases fuertes = Cubierta de sal y agua con liberación de calor



Por lo tanto los residuos químicos pueden ser segregados por tipo de residuo o clasificación de peligrosidad.

- Los líquidos inflamables o combustibles se deben separar de sustancias corrosivas y oxidantes, así como otras fuentes de ignición.
- Se deben separar los recipientes que contienen ácidos de las bases.

Para organizar la separación de los residuos generados se puede observar la tabla de compatibilidad binaria de la pagina 15.

Las muestras que resultaron ser compatibles se juntan en un contenedor indicando el grupo compatible al que pertenecieron y las muestras incompatibles deben envasarse individualmente para su disposición final.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de residuos peligrosos es muy costoso, ya que existe una gran inversión de recursos materiales, económicos y humanos además de la inversión de tiempo destinado a pasivar y/o disminuir las características peligrosas de los mismos.

En investigación, los residuos generados son muy variados, pero si se identifican y clasifican desde su generación, se reducen en gran medida los costos de tratamiento. Por esta razón cada generador esta obligado a recolectar sus residuos en envases adecuados e identificarlos apropiadamente. Esto no es ningún problema ya que cada uno sabe con lo que trabaja y los posibles residuos generados.

Si el generador no cuenta con la información necesaria para tratar sus residuos, existen diversas fuentes de información para pasivar las características peligrosas de estos.

Es importante que cada responsable de un laboratorio tome en cuenta estos aspectos y los lleve a la practica ya que es un beneficio para todo el personal que labora en el mismo

El tratamiento y disposición final de un residuo peligroso involucra la interacción de muchas personas, autoridades e incluso instituciones federales y privadas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) QUADRI, G. ( compilador). Aguas Residuales de la Zona metropolitana de la Ciudad de México. INAINE y Fundación Friedrich, Ebert 1989, México D. F.
- 2) Earth Works Group 50 Simple. Things you can do to save the earth. Earth Works Press, 1989 Berkeley. California.
- 3) Dictionary of Environmental Science and Technology. Review edition Andrew Porteus. John Wiley & Sons. West Success England 1992
- 4) USEPA (1990) "RCRA Orientation Manual", Office of solid waste Washington, D.C., EPA/530-SW-90-036.
- 5) BASTNE, R, Smith, J.E, Wilson, D (1989) " The disposal of hazardous wastes", The World Bank and World Health Organization Washington D.C.
- 6) NOM-054-ECOL1993, Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-CPR-052-1993. Diario Oficial de la Federación. 22 de octubre de 1993, México.
- 7) NOM-CPR-052-1993 Norma Oficial Mexicana que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los limites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad en el ambiente. Diario Oficial de la Federación 22 de octubre de 1993, México
- 8) FOCHTMAN E.G. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", McGraw-Hill, New York, pp 7 41-7 49

- 9) Reglamento De La Ley General De Equilibrio Ecológico Y La Protección Ambiental En Materia De Residuos Peligrosos; Diario Oficial de la federación, 25 de noviembre de 1988, México
- 10) POJASEK R.B. (1979) "Toxic and Hazardous Waste Disposal", Vol. I Ann Arbor Science Publishers, Inc. Michigan, pp.55.
- 11) WORLD BANK TECHNICAL PAPER No 93. (1989) "The Safe Disposal of Hazardous Wastes", Editado por Balstone R., J.E. Smith Jr. y D. Wilson. Estudio conjunto del Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Vol. I. pp.19-32 y Vol. II. pp. 333-335.
- 12) NOM-007-STC2/1994; Norma Oficial Mexicana, marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos; Diario Oficial de la Federación; 18 de agosto de 1995; México.
- 14) FEIGL F. y ANGER V. (1978) "Pruebas a la gota en análisis orgánico" Ed. El manual moderno , S.A. de C.V., México, pp. 41-49, 66-67.
- 15) CORTINA, N C. Manejo de residuos peligrosos en México. SEDESOL, México 1994.
- 16) FREEMAN, H.M. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", McGraw-Hill, Publishers Co New York,
- 17) Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente; Diario Oficial de la Federación; 28 de enero de 1988, México.

- 18) KIANG Y.H y A. METRY., (1982) "Hazardous Waste Processing Technology"  
Ed Ann Arbor Science, Michigan , pp. 486-487, 499-501
- 19) HIGGINS T.E. (1989) "hazardous Waste Minimization Handbook", Lewis  
Publishers, Michigan, pp. 88-90.
- 20) Sistema Nacional De Protección Civil. Centro Nacional De Prevención De  
Desastres (CENAPRED). Procesos fisicoquímicos para estabilización de  
residuos peligrosos. Junio de 1993
- 21) MÉNDEZ, S. J. M., Reglamento de Higiene y Seguridad, Sección de Química  
Orgánica, Departamento de Química Orgánica, UNAM, México, 1996.
- 22) AYRES G H., (1970) "Análisis químico cuantitativo " Ed. Harla S A. de C.V.,  
México, D. F., pp 41 y 42
- 23) CHUNG N. K. (1989) "Standard Handbook of hazardous wastes" Ed. McGraw-  
Hill, New York, pp. 7 21-7.29.
- 24) KIANG Y H. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Wastes Treatment and  
Disposal", McGraw-Hill Inc. , New York, pp. 8.195-8.200.
- 25) FEIGL F. y ANGER V. (1980) "Pruebas a la gota en análisis inorgánico" Ed.  
El manual moderno , S.A. de C.V., México, pp. 244-246
- 26) MALONE P G. y L. W. JONES (1982) "Guide to the Disposal of Chemically  
Stabilized and Solidified Waste", USEPA, Office of Water and Waste  
Management, SW-872, Washington, October, pp 22-25.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

- 27) METCALF y EDDY Inc (1985), "Brief Technologies available for Hazardous Wastes" sección 2.20, Oxidación Química, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norte América, Mayo, Washington, D.C.
- 28) FIESER L.F. y M FIESER (1967) " Reagents for Organic Synthesis", Ed. Wiley , New York, pp 276
- 29) GARRITZ, R. A., Reglamento de Higiene y Seguridad para Laboratorios de la Facultad de Química de la UNAM, Facultad de Química, México, 28 de abril de 1994
- 30) KAUFMAN, J. A Laboratory Safety Guidelines 40 steps for a safer laboratory, USA, 1998.
- 31) KEARNEY,P C. y MAZZOCHI, P.H (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment ", Photolysis, Ed. McGraw-Hill, New York, pp. 7 33-7.39
- 32) DAVIS, M.L. y D.A. CORNWELL (1991) " Introduction to Environmental Engineering" Ed. McGraw-Hill, New York, pp.654-655, 666-671,690
- 33) PERRY (1988) "Biblioteca del Ingeniero Químico. Vol. 5 " Ed Mc Graw-Hill, New York. 22a
- 34) PATTERSON, J W ET AL 819779, "Carbonate Precipitation for Heavy Metals Pollutants" J Water Pollution Control Fed Estados Unidos de Norteamérica.
- 35) STRICOFF R S y WALTERS D. B. (1990) " Laboratory Health and Safety Handbook" . Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc. 1990 USA, pp 20-225, 20-238

- 36) TELLES R. W. y H. R. Lubowits (1984) "Review of Fixation Proceses to Manage Hazardous Wastes", USEPA y Oficina de manejo de Agua y Residuos., Cincinnati, Ohio, pp. 112.
- 37) WENTZ C.A. (1989) "Hazardous Waste Management", McGraw-Hill Publishing Co , New York,. Pp. 156-160,195-197
- 38) The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data. 1st. Edition., Aldrich Chemical Company, USA, 1985.