

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA



"PROCESO FISICO-QUIMICO PARA ELIMINAR  
PLATA, MERCURIO Y CROMO, DEL RESIDUO  
GENERADO EN LA DETERMINACION DE LA  
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

RAMON MONTUY HERNANDEZ



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

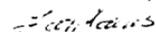
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

**JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>PROF. RODOLFO TORRES BARRERA</b>
<b>VOCAL</b>	<b>PROF. VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>PROF. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS</b>
<b>1er. SUPLENTE</b>	<b>PROF. HILDA ELIZABETH CALDERÓN VILLAGOMEZ</b>
<b>2do. SUPLENTE</b>	<b>PROF. MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ</b>

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**INSTALACIONES DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
AMBIENTAL Y QUÍMICA AMBIENTAL, PIQAYQA DE LA  
FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM**

  
\_\_\_\_\_  
Q.F.B. Landy Irene Ramírez Burgos  
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr.-Ing. María del Carmen Durán Domínguez  
SUPERVISOR TÉCNICO

  
\_\_\_\_\_  
Ramón Montúy Hernández  
SUSTENTANTE

## DEDICATORIAS

*A Dios, por haberme dado la fuerza, valor y serenidad para realizar este trabajo tan importante en mi vida.*

*A mi madre, por su gran cariño y amor, además de habernos logrado mantener juntos en los momentos más difíciles.*

*A mi padre, por haberme enseñado el significado de la vida, humildad, respeto y darme tanto amor y cariño. siempre te recordare y te llevare en mi corazón;  
;Te extraño!*

*A mis hermanos:*

*Elizabeth, por su ejemplo de responsabilidad.*

*Luis y Darwin, por todos los momentos que hemos compartido.*

*A los tres espero que este trabajo les sirva de ejemplo de superación y los motive a seguir preparándose, espero que siempre sigamos juntos. Los quiero mucho.*

*A toda mi familia, abuelos, tíos, primos y sobrinos que siempre han estado conmigo.*

*A mis amigos: **Juan, Fernando, Toño y Rafael**, por todas las cosas que hemos compartido y los momentos inolvidables, espero que siempre sigamos juntos y conservando nuestra valiosa amistad.*

*A todos mis compañeros y personas que laboran en el laboratorio del PIQAYQA y en especial a **Fidel** por su compañerismo y amistad.*

*A **Landy**, por su amistad, mi más sincero agradecimiento por su valioso asesoramiento.*

*Un especial agradecimiento a la **Dra.-Ing. Carmen Durán de Bazúa**, por su ejemplo de profesionalismo, así como por su gran apoyo y confianza.*

*A mis otros asesores, el **Dr. Víctor Manuel Luna Pabello**, el **Ing. Rodolfo Torres Barrera** e **Hilda Elizabeth Calderón Villagomez**, por su valioso tiempo y contribución a este trabajo.*

*A todas las personas que influyeron en mi vida y que hicieron posible este trabajo.*

*A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** por haberme brindado una educación y cultura, y de la cual me siento sumamente orgulloso de pertenecer.*

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>I. GENERALIDADES</b> .....	<b>9</b>
<b>I.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>I.2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>10</b>
I.2.1 SIGNIFICADO DE LA DEMANDA QUÍMICA OXÍGENO (DQO).....	10
I.2.2 IMPORTANCIA DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	10
I.2.3 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	12
I.2.4 PROBLEMÁTICA EN ESTUDIO.....	12
<b>II. FUNDAMENTOS</b> .....	<b>14</b>
<b>II.1 LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD EXISTENTE DE RESIDUOS PELIGROSOS</b> .....	<b>14</b>
II.1.1 SISTEMA LEGAL.....	14
II.1.2 LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE.....	15
II.1.3 REGLAMENTO SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS.....	16
II.1.4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS.....	17
<b>II.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA RESIDUOS PELIGROSOS</b> .....	<b>17</b>
II.2.1 MINIMIZACIÓN EN LA FUENTE.....	18
II.2.2 RECUPERACIÓN Y RECICLAJE.....	18
II.2.3 TRATAMIENTOS.....	19
II.2.3.1 Tratamientos físico-químicos.....	19
II.2.3.2 Tratamientos biológicos.....	26
II.2.3.5 Tratamientos térmicos.....	30
II.2.4 DISPOSICIÓN FINAL.....	35
II.2.5 FACTORES IMPORTANTES EN LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	36
<b>II.3 GENERALIDADES PARA PLATA, MERCURIO Y CROMO</b> .....	<b>37</b>
II.3.1 PLATA.....	37
II.3.1.1 Generalidades.....	37
II.3.1.2 Propiedades químicas.....	37
II.3.1.3 Reacciones.....	38
II.3.1.4 Usos en la industria.....	39
II.3.1.5 Toxicidad.....	39
II.3.2 MERCURIO.....	40

II.3.1.5 Toxicidad.....	39
II.3.2 MERCURIO.....	40
II.3.2.1 Generalidades.....	40
II.3.2.2 Propiedades químicas.....	40
II.3.2.3 Reacciones.....	42
II.3.2.4 Usos en la industria.....	43
II.3.2.5 Toxicidad.....	43
II.3.3 CROMO.....	42
II.3.3.1 Generalidades.....	44
II.3.3.2 Propiedades químicas.....	45
II.3.3.3 Reacciones.....	47
II.3.3.4 Usos en la industria.....	48
II.3.3.5 Toxicidad.....	49
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>50</b>
III.1 ANÁLISIS DEL RESIDUO.....	50
III.1.1 MUESTREO.....	50
III.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.....	50
III.1.5 ANÁLISIS CUALITATIVO.....	51
III.1.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	53
III.1.4.1 Determinación de la concentración total para cada metal.....	53
III.1.4.2 Determinación de la concentración para cada uno de los metales en su respectivo estado de oxidación.....	54
III.2 PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN DE METALES.....	56
III.2.1 EQUIPO.....	58
III.2.2 MATERIAL.....	58
III.2.3 REACTIVOS.....	58
III.2.4 METODOLOGÍA.....	59
III.2.5 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DEL PROCESO.....	60
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
IV.1 RESULTADOS CUALITATIVOS.....	63
IV.2 ANÁLISIS DEL RESIDUO ANTES Y DESPUÉS DE APLICAR EL PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN.....	63
IV.2.1 CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL DE LOS CONTAMINANTES (RESULTADOS CUANTITATIVOS).....	63
IV.2.2 PORCIENTO DE ELIMINACIÓN DE METALES.....	64
IV.2.3 COMPARACIÓN CON LA NORMATIVIDAD MEXICANA PARA RESIDUOS PELIGROSOS.....	66

IV.3 DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN DE METALES.....	68
IV.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	69
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
V.1 CONCLUSIONES.....	71
V.2 RECOMENDACIONES.....	72
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (SIN CITAS EN EL TEXTO).....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
ANEXO I ANÁLISIS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	77
ANEXO II DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLATA, MERCURIO Y CROMO.....	81
ANEXO III PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE METALES.....	91
ANEXO IV NORMA NOM-052-ECOL-1993.....	92

## RESUMEN

El trabajo realizado se divide en tres etapas y tiene como objetivo proponer una metodología o proceso para separar selectivamente los metales pesados de un residuo líquido procedente de la prueba analítica llamada DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) (para determinar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales a tratar) empleada en el laboratorio del Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (PIQAYQA). En la primera etapa del trabajo se realizó un análisis mediante absorción atómica, y se encontró que el residuo líquido contenido en cuatro tanques de polietileno de alta densidad de 200L, ubicados en el laboratorio, contenía los siguientes metales  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ . La concentración de cada uno de estos metales sobrepasaba los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad mexicana, por lo que se le considera un residuo líquido peligroso de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993. La segunda etapa del trabajo consiste en que, sabiendo que metales se encontraban presentes, el estado de oxidación, su estado físico, el volumen, factores económicos y la legislación, se planteó un tratamiento físico-químico para separar estos metales del líquido que los contenía. Este proceso va a estar en función de los reactivos, equipos y material existente en el laboratorio. El proceso se basa en tres pasos, en cada uno de los cuales se llevan a cabo reacciones específicas para cada uno de los metales en su respectivo estado de oxidación. En el primer paso se agrega ácido clorhídrico (HCl) precipitando la plata  $\text{Ag}^+$  como cloruro de plata ( $\text{AgCl}\downarrow$ ) y el catión mercurioso  $\text{Hg}_2^{2+}$  como cloruro mercurioso ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow$ ). En el segundo paso se agrega sulfato ferroso amoniacal,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ , para reducir el  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$  y precipitarlo en un medio básico. El tercer y último paso consiste en agregar hidróxido de sodio NaOH para precipitar el  $\text{Cr}^{3+}$  como hidróxido de cromo  $\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow$  y el catión mercurioso  $\text{Hg}_2^{2+}$  como óxido de mercurio ( $\text{Hg}_2\text{O}\downarrow$ ). La última etapa del trabajo consiste en realizar un análisis para saber realmente que cantidad de metales se está eliminando. La principal ventaja de este proceso físico-químico es que se tiene un porcentaje de eliminación del 90%, recuperando los metales que pueden ser reutilizados o darles una disposición final adecuada. Los residuos sólidos obtenidos en el proceso, se siguen investigando para tratar de recuperar los metales y de esta forma poder volver a utilizarlos. El costo de este proceso es bajo debido que los reactivos ocupados son todos de grado industrial, que son mas baratos que los reactivos de grado analítico, además, no se requiere equipo especial ni material costoso y el área donde se realiza el tratamiento no necesita ser ni grande ni exclusiva. El proceso físico-químico planteado puede ser una alternativa de solución, para problemas de residuos líquidos peligrosos similares que se generen en algun otro laboratorio.

# I GENERALIDADES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En la naturaleza no se generan desperdicios puesto que los residuos de un proceso biológico se aprovechan como insumos en otro. Sin embargo, los seres humanos desarrollan actividades y procesos productivos ineficientes que consumen grandes cantidades de energía, agua o materias primas, que producen grandes cantidades de residuos (Cortinas de Nava y Gleason, 1993).

La generación de estos residuos ha obligado a tomar medidas no solo a nivel nacional sino también a nivel mundial. En México es importante crear una conciencia del problema que esto ocasiona ya que por lo general se observa que la mayor parte de los residuos tienen una disposición clandestina en tiraderos municipales, barrancas, drenajes municipales, ríos, lagos, etcétera, ocasionando un deterioro para el ambiente.

Los residuos varían según el tipo de actividades y formas de consumo que los generan, por esta razón, los residuos se pueden clasificar para su estudio en emisiones hacia la atmósfera, en aguas contaminadas y residuos industriales, estos últimos se clasifican en residuos no peligrosos y residuos peligrosos. La ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente define a un residuo peligroso como aquel residuo en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológicas-infecciosas, representen un peligro para la salud, el ambiente; o se encuentre simplemente en el listado de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-1993 (Anexo IV), que además establece los límites máximos permisibles.

El trabajo realizado en el laboratorio del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM tiene como objetivo proponer una metodología para tratar al residuo generado en sus laboratorios, proveniente de la prueba analítica llamada DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) (que mide la cantidad de materia orgánica presente en aguas residuales a tratar). En esta prueba se emplean reactivos que contienen metales pesados tales como  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  que hacen que a este residuo se le considere como un residuo peligroso.

En la actualidad, la política nacional de residuos peligrosos, acuerda la importancia prioritaria a la reducción de su generación y peligrosidad en la fuente, en particular mediante la adopción de procesos productivos más limpios. Por otro lado la segunda prioridad es su resuso, reciclado y recuperación y la última prioridad es su tratamiento y disposición final, todo ello, de manera ambientalmente adecuada (Cortinas de Nava y Gleason, 1993).

Considerando las prioridades nacionales anteriores sobre residuos, peligrosos el proceso propuesto se basa principalmente en estas dos últimas debido a que se busca una recuperación de los metales (separación selectiva), para poderles dar un resuso o cuando no sea posible esta recuperación dar un tratamiento para eliminar los metales pesados y obtener un residuo inocuo.

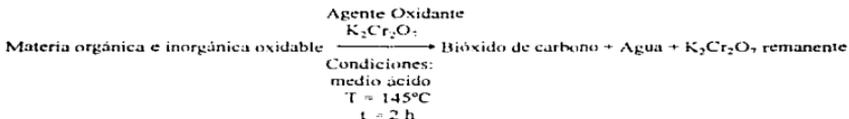
Existen diferentes técnicas, procesos o métodos para tratar a un residuo peligroso y el proceso propuesto para este trabajo es solo una opción más y se basa en un tratamiento físico-químico que maneja conceptos como son : neutralización, precipitación, oxido-reducción y centrifugación.

## I.2 ANTECEDENTES

### I.2.1 SIGNIFICADO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de oxígeno equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual) (Anexo I).

En esta determinación la materia orgánica es oxidada a bióxido de carbono y agua.



### I.2.2 IMPORTANCIA DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La DQO es un parámetro importante y rápido para determinar el grado de contaminación del agua y puede ser empleada para estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Mediante este parámetro se realiza un monitoreo y se puede dar un seguimiento en línea de la calidad del agua residual en tratamiento, midiendo la  $DQO_{in}$  (a la entrada) y la  $DQO_{en}$  (a la salida).

Esto se puede ejemplificar mediante la figura I.1:

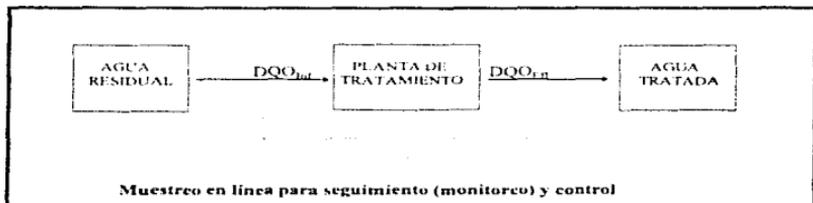


Figura I.1 Seguimiento en línea de una planta de tratamiento de aguas residuales

Mediante este monitoreo en línea se puede saber si el tratamiento es el adecuado y el porcentaje de agua que se está depurando.

**Ejemplo:**

Se tiene un agua residual proveniente de una fábrica con una DQO de 2,000 mg/L, después de pasar a través de una planta de tratamiento, se logra obtener una DQO de 90 mg/L. Se desea saber el grado de depuración obtenido (% de remoción de materia orgánica medida como DQO).

**Datos:**

$$DQO_{inf} = 2,000 \text{ mg/L}$$

$$DQO_{ef} = 90 \text{ mg/L}$$

Para calcular el % de remoción es necesario calcular la  $DQO_{removida}$ , ésta se calcula de la siguiente manera:

$$DQO_{removida} = DQO_{inf} - DQO_{ef}$$

Sustituyendo los datos:  $DQO_{removida} = 2,000 \text{ mg/L} - 90 \text{ mg/L}$

$$DQO_{removida} = 1,910 \text{ mg/L}$$

Para calcular el % de remoción se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{DQO_{removida}}{DQO_{inf}} \cdot 100$$

Sustituyendo los datos obtenidos se tiene:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{1,910 \text{ mg/L}}{2,000 \text{ mg/L}} \cdot 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 95.5 \% \text{ materia orgánica medida como DQO}$$

En este ejemplo se ve claramente la importancia de realizar un monitoreo en línea, ya que sabiendo la DQO a la entrada de la planta de tratamiento y la DQO a la salida de ésta, puede saberse rápidamente el % de depuración.

### 1.2.3 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Para determinar la DQO los métodos más usados, precisos y confiables son el de la oxidación por dicromato (APHA, 1985) y el "método rápido" (Jeris, 1967); ambos métodos utilizan los siguientes reactivos:

- Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), agente oxidante
- Sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ ), catalizador de la reacción
- Sulfato de mercurio ( $HgSO_4$ ), sirve para precipitar algunos iones inorgánicos como los  $Cl^-$ , etc
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado  $Fer(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , para titular el exceso de cromo
- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ), es el medio donde se realiza la reacción

Después de realizada la determinación (DQO), se obtiene un residuo que, de acuerdo a la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-93 (Anexo IV), se le considera como un residuo peligroso debido a que contiene plata, mercurio y cromo en concentraciones por arriba de lo establecido por la normatividad mexicana.

Los límites máximos permisibles que esta Norma marca para estos elementos son:

Tabla 1.1 Límites máximos permisibles para cromo, mercurio y plata según la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-93

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS	CONCENTRACION MÁXIMA PERMITIDA (ppm)
CROMO HEXAVALENTE	5
MERCURIO	0.2
PLATA	5

### 1.2.4 PROBLEMÁTICA EN ESTUDIO

Para auxiliar a la UNAM, al sector paraestatal e industrias privadas y a las oficinas de gobierno en la solución de sus problemas ambientales, especialmente debidos a la generación de residuos peligrosos, en julio de 1989 se creó el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAyQA) (Bazua-Durán, 1994). Para resolver estos problemas el PIQAyQA realiza múltiples investigaciones en diversos laboratorios, que manejan sustancias peligrosas, en pequeñas cantidades. Algunas de estas sustancias provienen de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), parámetro químico que en este laboratorio es muy utilizado y que por las características de las sustancias que se necesitan (Inciso 1.2.3) se les considera un residuo peligroso y como tal se le debe manejar.

Hasta la fecha no se contaba con un tratamiento o disposición final adecuada, para estos residuos, por lo que se fueron almacenando en tanques de polietileno de alta densidad de 200L, llegando a acumularse cuatro tanques.

Para poder resolver este problema se le encargó a los especialistas del área de residuos peligrosos del laboratorio del PIQA y QA que plantearan una solución.

En primer lugar se analizaron las características físicas del residuo, después se realizó un análisis cualitativo para comprobar que ciertamente se tenían plata, mercurio y cromo, posteriormente se realizó un análisis cuantitativo para saber qué cantidad existía exactamente de cada uno de los metales en cada tanque.

En segundo lugar se realizó una investigación bibliográfica detallada sobre la normatividad existente con respecto a los residuos peligrosos, las alternativas en el manejo y la disposición final de los residuos peligrosos y las generalidades para cada uno de los metales (propiedades físicas, químicas, reacciones específicas, usos en la industria y toxicidad). Esta revisión bibliográfica sirvió para sustentar el proceso planteado en este trabajo, el cual una vez comprobado experimentalmente se aplicó a los residuos generados en la DQO.

## II. FUNDAMENTOS

### II.1 LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD EXISTENTE DE RESIDUOS PELIGROSOS

#### II.1.1 SISTEMA LEGAL

La base del sistema jurídico mexicano se encuentra en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. De esta norma fundamental (promulgada el 5 de febrero de 1917 y reformada más de 400 veces) derivan las normas jurídicas específicas, siguiendo una jerarquización tal, que cada una valida y fundamenta a otra inferior y ésta, a su vez, da origen a otra u otras (Figura II.1).

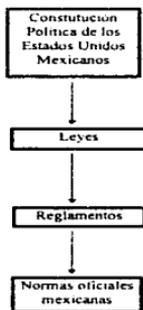


Figura II.1 Sistema legal mexicano

#### Las leyes

Colocadas en un primer nivel jerárquico en nuestro sistema jurídico, las leyes son normas generales y permanentes, que derivan de la Carta Magna; con la que deben guardar congruencia y no contradecirla, contrariarla, rebasarla o modificarla. Al ser aplicables a toda persona o situación que quede incluida dentro de lo que disponen, las leyes son generales ya que no se refieren a ninguna persona o caso en particular. Los destinatarios están señalados por circunstancias abstractas. A quien realice el supuesto, se le aplica la Ley.

En nuestro sistema jurídico, la ley es fuente autónoma, creadora de obligaciones en aquellos casos en que se considera un hecho material, independiente de toda voluntad del ser humano y hace que se generen consecuencias de Derecho.

### **Los reglamentos**

En segundo nivel dentro de la escala jerárquica del Sistema Jurídico Mexicano están los reglamentos. Estos comprenden las disposiciones legislativas expedidas por el Poder Ejecutivo para el desarrollo o instrumentación de las disposiciones legales. Es decir, por lo general el reglamento deriva de una ley a la cual complementa y amplía en sus principios.

Por otro lado, existen reglamentos que no necesariamente tienen una referencia legal directa, y que son denominados reglamentos autónomos, como es el caso de los expedidos para la jurisdicción del Distrito Federal, en el que no existe congreso local.

Los titulares de la administración pública de las áreas reguladas son las directamente responsables de la forma y contenido de los reglamentos correspondientes. A propuesta de éstos, el Ejecutivo promulga los reglamentos y los decretos, mismos que pueden ser modificados mediante decreto tanto por los titulares de la Administración Pública como por el propio Ejecutivo.

### **Las normas**

El tercer nivel de esta jerarquización está ocupado por las normas. En esencia, son resoluciones de control ejercidas específicamente en el ámbito administrativo, al provenir de decisiones emitidas por una o varias autoridades de la Administración Pública; en algunos casos son producto de un estudio particular de normalización, aprobado por una autoridad reconocida (SECOFI), con objeto de evitar conflictos que pudieran surgir en casos concretos.

A partir de la entrada en vigor de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) (16 de julio de 1992), se hizo necesario replantear todas las normas técnicas obligatorias (incluyendo las ambientales y las sanitarias), publicadas previamente en nuestro país.

## **III.2 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (L.G.E.P.A) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre de 1986, con base en los artículos 4, 25, 27 y 73 de la Constitución Política Mexicana. Esta ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución referida a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente en el territorio nacional y a las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y su objeto es el de establecer las bases para

- Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación
- Propiciar el ordenamiento ecológico y la preservación, restauración y mejoramiento del ambiente
- Proteger las áreas naturales así como la flora y fauna

- Aprovechar racionalmente los elementos naturales
- Prevenir y controlar la contaminación del agua, aire y suelo.
- Promover la concurrencia del gobierno federal con las entidades federativas, municipios, así como entre las diversas dependencias y la participación de la sociedad.

La LGEEPA está compuesta por 204 artículos, divididos en seis títulos:

- I. Disposiciones generales
- II. Biodiversidad
- III. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales
- IV. Protección al ambiente
- V. Participación social e información ambiental
- VI. Medidas de control y seguridad; y sanciones

Esta Ley define en su título I, artículo 3, fracción XXXII a los **residuos peligrosos (RP)** como "todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y/o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente."

La LGEEPA establece que la regulación de las actividades relacionadas con materiales o residuos peligrosos es un asunto de alcance general en la nación o de interés de la Federación y faculta a la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) para que, previa opinión de otras dependencias del Ejecutivo Federal, publique los listados correspondientes. De manera particular y definitiva, la gestión de los residuos peligrosos está contenida en los artículos del capítulo VI, título IV, denominado Protección al ambiente.

### **III.3 REGLAMENTO SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS**

El 13 de diciembre de 1996 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos. Este reglamento tiene por objeto regular las actividades de generación, almacenamiento, manejo, transportación, tratamiento, incineración, reuso y/o disposición final de residuos peligrosos. Para tal efecto, el Ejecutivo Federal, a través de la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), emiten los listados de residuos peligrosos y las Normas Oficiales Mexicanas que regulen el manejo de estos así como autorizar y supervisar la instalación, construcción, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final, etc. de ellos.

Asimismo, obliga a las empresas generadoras, transportistas, etc. a presentar periódicamente la información que sobre estas actividades se genere, mediante la presentación de diversos formatos. Crea igualmente, la metodología sobre las características de ciertas actividades. Por ejemplo: la implementación de bitácoras para el manejo de los residuos, las condiciones que deben reunir las áreas de almacenamiento, las de transporte y las de disposición final.

## **II.1.4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS**

La LGEEPA previó la expedición de la Normas Técnicas Ecológicas (NTE's) en las que se establecen requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben de observarse en el desarrollo de actividades o uso de destino de bienes que causen o puedan causar desequilibrios a los ecosistemas o al medio en general y que, además, permitan uniformar principios, preceptos, políticas y estrategias de conservación y restauración de los recursos naturales. Por tal razón, para regular la gestión de los residuos peligrosos se publicaron siete Normas Técnicas Ecológicas entre 1988 y 1989, las cuales fueron derogadas y transformadas en Normas Oficiales Mexicanas (NOM) con la expedición de la Ley de Federal sobre Metrología y Normalización el 22 de octubre de 1993 y son las siguientes:

NOM-052-ECOL-93 Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (anteriormente NTE-CRP-001/88).

NOM-053-ECOL-93 Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (anteriormente NTE-CRP-002/88).

NOM-054-ECOL-93 Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL-93 (anteriormente NTE-CRP-003/88).

NOM-055-ECOL-93 Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radioactivos (anteriormente NTE-CRP-008/88).

NOM-056-ECOL-93 Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (anteriormente NTE-CRP-009/88).

NOM-057-ECOL-93 Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (anteriormente NTE-CRP-010/88).

NOM-058-ECOL-93 Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (anteriormente NTE-CRP-011/88).

## **II.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA RESIDUOS PELIGROSOS**

Ante la imperiosa necesidad de iniciar medidas que a corto, mediano y largo plazo solucionen y prevengan el impacto de los residuos peligrosos sobre el entorno ecológico, se han generado diversas estrategias de solución (Cortinas de Nava y Gleason, 1993) :

### **1.- Minimización en la fuente**

2.- Recuperación y reciclaje

3.- Tratamiento

4.- Disposición final

## **II.2.1 MINIMIZACIÓN EN LA FUENTE**

Las medidas adoptadas para minimizar o disminuir los residuos peligrosos comprenden la siguientes acciones:

### **Modificación de procesos**

La innovación tecnológica ha repercutido en la creación de procesos productivos más eficientes, capaces de economizar energía y de aprovechar mejor las materias primas, así como de disminuir la generación de residuos peligrosos, reduciendo con ello los costos de manufactura. Ejemplos de modificaciones pueden ser: pequeños cambios en los métodos de operación (temperatura, presión), sustitución de materias primas o cambios mayores, como instalación de nuevos procesos o nuevas maquinarias.

### **Sustitución de productos**

Mediante esta opción se busca reemplazar productos altamente tóxicos o peligrosos por otros que aporten sus mismos servicios y cuyo manejo a lo largo de su ciclo de vida sea más seguro y respetuoso del ambiente. Tal es lo ocurrido al sustituir los bifenilos policlorados en los transformadores eléctricos por otros tipos de dieléctricos como ciertos aceites minerales o por aire.

### **Segregación en la fuente**

Consiste en prevenir la contaminación de grandes volúmenes de residuos industriales no peligrosos con otros que sí lo sean, además del manejo y la disposición adecuada de éstos últimos. Estos métodos proporcionan beneficios importantes a las empresas, al disminuir las cantidades de residuos peligrosos y reducir los costos de su manejo.

## **II.2.2 RECUPERACIÓN Y RECICLAJE**

Se trata de opciones que, en general, no requieren de inversiones por parte de los generadores de residuos peligrosos, ya que son operaciones rentables en las que se emplean materiales de fácil separación y purificación. Se distinguen tres tipos de opción:

- Reciclaje en la propia planta
- Recuperación comercial fuera de la planta
- Intercambio de materiales

En el caso de intercambio de materiales, se recomienda que las empresas generadoras de residuos peligrosos y las encargadas de su recuperación o reciclaje se instalen lo más cerca posible unas de las otras, con el fin de facilitar las operaciones.

### **II.2.3 TRATAMIENTOS**

Un tratamiento es cualquier técnica, método o proceso que cambie las propiedades físicas, químicas y/o biológicas de los residuos peligrosos para reducir su peligrosidad, recuperar material, energía o incluso para reducir su volumen. El estudio de estos tratamientos se divide en (Espíndola-Zepeda, 1992):

- A) Tratamientos físico-químicos
- B) Tratamientos biológicos
- C) Tratamientos térmicos

#### **II.2.3.1 Tratamientos físico-químicos**

Este tipo de proceso involucra el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes residuales peligrosas en sustancias menos peligrosas, así como tratamientos físicos para facilitar su separación; puede fomentar la recuperación de los recursos de la sustancias peligrosas, por lo que puede emplearse para obtener subproductos útiles y efluentes residuales ambientalmente aceptables (Wentz, 1989).

Estos procesos son mejores para el tratamiento de residuos que el método tradicional de disposición en un relleno sanitario, debido a que los costos del relleno sanitario se incrementan y su reglamentación es cada vez más estricta. Dentro de las ventajas del tratamiento químico como método de disposición se encuentra su relativo bajo costo, comparado a la incineración. En algunas ocasiones, el tratamiento produce subproductos útiles y en muchas otras implica la creación de otro residuo menos peligroso (Phifer, 1988).

#### **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 solvente para disminuir la solubilidad de la sustancias en él. Los sólidos precipitados pueden separarse por sedimentación y/o filtración. Se usa comúnmente la precipitación para reducir la dureza del agua por remoción de calcio y magnesio (Chung, 1989).

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 y metaloides arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

Otros residuos acuosos que comúnmente contienen metales y pueden removerse por precipitación, son los residuos corrosivos y el licor de baños químicos de metales gastados en las operaciones de acabado del acero en la industria del hierro y el acero.

En el proceso de precipitación química se adiciona un agente precipitante químico al metal contenido en el residuo acuoso; esto se lleva cabo 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 agente precipitante. Los sólidos suspendidos resultantes se separan por sedimentación en un clarificador. Para mejorar la remoción de los sólidos suspendidos, se puede realizar una floculación, con o sin un agente coagulante químico (Figura H.2).

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 indeseable (el metal que va a separarse). Debido a que la solubilidad se afecta por la temperatura, también es un factor importante en este tipo de reacciones.

El estado de valencia también influye en el proceso. Por ejemplo, el hierro ferroso es considerablemente más soluble que el hierro férrico, por lo que se realiza un tratamiento con un agente oxidante para convertir el hierro ferroso a férrico. Otro ejemplo es el cromo hexavalente que es mucho más soluble que la menos peligrosa forma trivalente. Los cromatos deben reducirse antes de separarse 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 (Wentz, 1989).

Existen diferentes agentes precipitantes químicos para la reacción de metales pesados de los residuos acuosos. La precipitación de hidróxidos utilizando cal como agente precipitante es el método más empleado; la mayoría de los metales también pueden precipitar como sulfuros y algunos de ellos como carbonatos.

Se obtienen dos corrientes de este proceso, los lodos que contienen los sólidos precipitados y el líquido clarificado. A los lodos se les elimina el agua y los sólidos se disponen previo proceso de estabilización. Este proceso genera un gran volumen de lodos los cuales deben ser dispuestos. Todo proceso se opera a condiciones ambientales, eliminando así el peligro de alta presión y temperatura con respecto a otros sistemas. En caso de que los compuestos químicos empleados sean irritantes para la piel, por medio de esta tecnología pueden ser fácilmente manejados en una forma segura.

### **Neutralización**

Muchas operaciones de manufactura y proceso producen efluentes que son ácidos o alcalinos en su naturaleza. La neutralización de una corriente residual excesivamente ácida o básica es necesaria en una variedad de situaciones (Kiang, 1982).

Esta técnica involucra combraadamente un ácido o una base a una corriente de residuos peligrosos para ajustar el pH a un nivel deseado, la neutralización puede requerirse antes del tratamiento del residuo para proteger el equipo y optimizar el funcionamiento del tratamiento; el pH final deseado fluctúa entre 6 y 9 y los productos de la reacción incluyen agua, sales y sólidos precipitados.

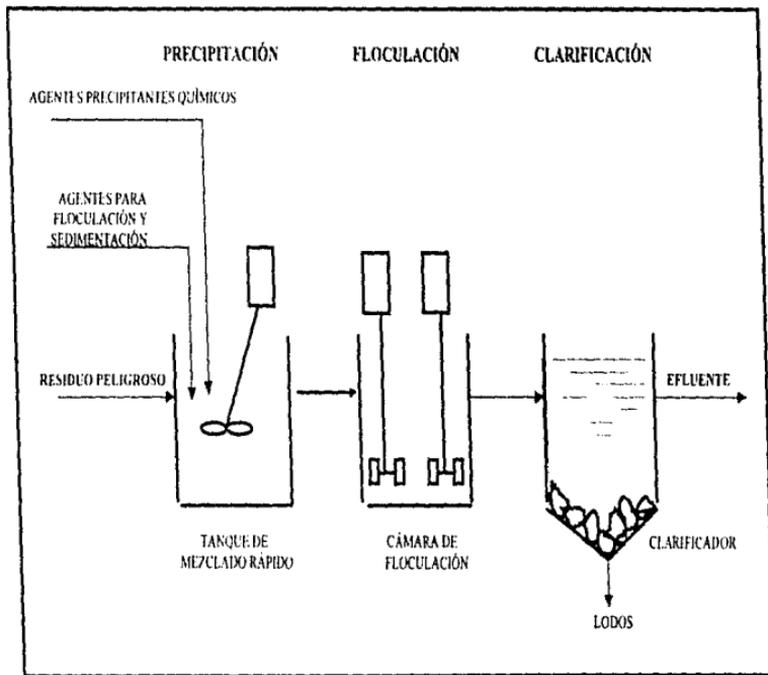


Figura 11.2 Esquema de precipitación química y sus procesos asociados

La neutralización es más comúnmente llevada a cabo en completo mezclado dentro de tanques resistentes a la corrosión, lagunas y filtros de lechos con piedras calizas. Las bases más usadas son la cal, el hidróxido de calcio, sosa cáustica e hidróxido de amonio. Los ácidos más comunes son el sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico.

Este proceso puede ser llevado a cabo en flujo continuo o batch y es conducido por lo general en tanques en serie, la alimentación del agente neutralizante es controlada automáticamente. La remoción de los sólidos se requiere ya sea después de la neutralización o en un clarificador separador con el propósito de remover los sólidos precipitados.

Se aplica complementariamente en diferentes puntos de un proceso. Es un tratamiento de uso común que requiere la separación (si los hay), en un clarificador, antes de la floculación pueden liberarse gases tóxicos como amoníaco, ácido sulfhídrico, ácido cianhídrico, en caso de que no se efectúe el proceso lentamente o no se prepare adecuadamente. En la industria petroquímica se aplica a :

- 1.- Aguas residuales ácidas o alcalinas
- 2.- Sosa gastada

El proceso utiliza mezcladores, clarificadores y sedimentadores. Los sistemas de neutralización se diseñan en una o varias etapas (Figura II.3).

Se requieren postratamientos para remover los metales y los compuestos orgánicos suspendidos o disueltos. Si se obtiene una alta concentración de compuestos disueltos se formarán complejos químicos que requerirán un tratamiento químico adicional como adsorción con carbón, ósmosis inversa o intercambio iónico. En el caso de que obtengan sólidos precipitados, deben removerse mediante clarificación o filtros, si se obtienen con la calidad adecuada pueden venderse o en su defecto se disponen.

### **Hidrólisis**

La hidrólisis como proceso químico se ha utilizado desde los primeros días de la manufactura del jabón. La adición de un álcali para neutralizar grasas calientes en la producción del jabón aún se utiliza. Los procesos que involucran la hidrólisis son comunes en la industria alimentaria, papelería y petroquímica (Kiang, 1982).

La hidrólisis se puede realizar en un equipo sencillo (en tanques abiertos por lotes) o en equipos más complicados (flujo continuo en grandes torres). El manejo de ácidos fuertes y álcalis requiere de precauciones. Las reacciones que se llevan a cabo a presiones y temperaturas elevadas necesitan control y monitoreo estricto del proceso.

Como proceso de tratamiento para residuos peligrosos, la hidrólisis se puede aplicar a una amplia variedad de formas físicas. Puede adaptarse al manejo de líquidos, gases y sólidos. Con pocas excepciones, la hidrólisis no parece ser promisoria para la disposición de materiales inorgánicos, sin embargo es de gran importancia para compuestos orgánicos aromáticos y alifáticos, tales como ésteres, éteres, carbohidratos, ácidos sulfónicos, compuestos halogenados, fosfatos y nitrilos.

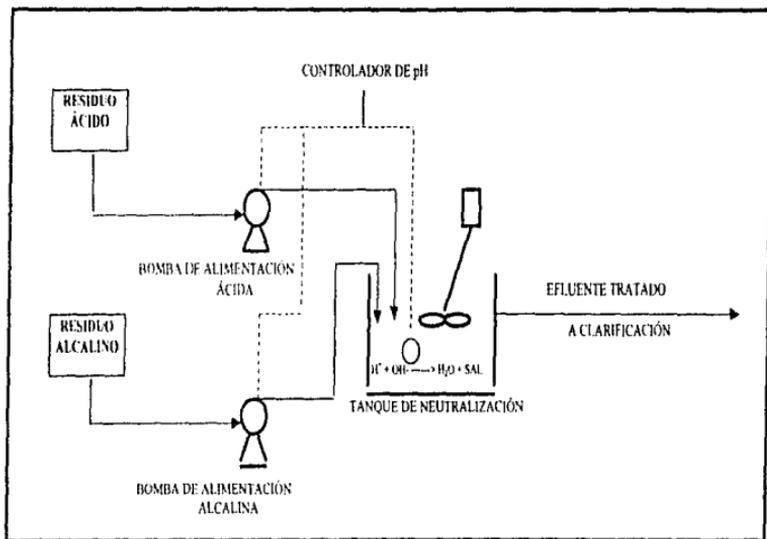


Figura II.3 Esquema de neutralización

Una desventaja potencial de la hidrólisis es la posibilidad de formación de productos de reacción indeseables. Frecuentemente será necesario conducir una investigación preliminar (a escala de laboratorio) de la reacción, para determinar la temperatura, presión, tiempo de reacción, agente hidrolizante y concentración apropiadas. También deben estudiarse las rutas de reacción más probables y la toxicidad de cualquier producto generado (Kiang, 1982).

### **Fotólisis**

El proceso fotoquímico ocurre continuamente en la atmósfera y en la superficie de la tierra. Es un proceso ambiental natural que se presenta diariamente, degradando numerosos compuestos orgánicos en la superficie del suelo, en la atmósfera y en varios cuerpos del agua. La radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra está limitada a longitudes de onda mayores de 295nm, ya que el oxígeno atmosférico absorbe las longitudes inferiores (Willard, 1974).

El equipo fotoquímico consiste de dos componentes: Un recipiente que contiene el material a irradiar y una fuente de luz. La mayoría de los recipientes son de vidrio o de sílice fundido y son de dos diseños básicos; aquellos en que la fuente luminosa está sumergida en el medio de reacción y aquéllos en que la fuente luminosa está externa al medio. Existen tres tipos principales de lámparas de resonancia de mercurio que se emplean como fuentes de luz ya que producen energía en la región ultravioleta.

La fotólisis se emplea como método de destrucción de ciertos herbicidas e insecticidas, debido a que el uso extenso de estos ha llegado a infiltrarse en el agua subterránea.

La fotólisis de muchos compuestos aromáticos conduce a una fragmentación incompleta del anillo. Algunos de los productos de la fotólisis de plaguicidas pueden presentar problemas toxicológicos potenciales (aún cuando se piensa que son menos tóxicos que el material original). En consecuencia se debe contar con un proceso de tratamiento secundario que mineralice los fotoproductos a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y cloro. Se pueden utilizar organismos microbianos selectos o microorganismos que genéticamente modificado por ingeniería para realizar la destrucción completa de algunos fotoproductos generados por la radiación ultravioleta.

### **Oxidación y reducción química**

Es un proceso electroquímico que consiste en la transferencia de electrones, mediante reacciones de óxido-reducción, una especie química aumenta su estado de oxidación mientras que la otra especie disminuye su estado de oxidación.

Cuando pierde electrones un ion, átomo o molécula, la sustancia se oxida, cuando gana electrones, ésta se reduce. Cuando el  $\text{Cr}^{3+}$  gana electrones y se convierte en  $\text{Cr}^{2+}$  el ion se reduce; cuando el  $\text{Cr}^{6+}$  pierde electrones y se convierte en  $\text{Cr}^{3+}$  el ion se oxida.

Las reacciones de óxido-reducción o "redox" tienen un papel importante en el tratamiento de residuos que contienen trazas de metal y de residuos tóxicos inorgánicos tal como los residuos que contienen metales, sulfuros, cianuros, cromo y también en el tratamiento de algunos compuestos tales como fenoles y plaguicidas.

La oxidación química es ampliamente usada para tratar residuos peligrosos y no peligrosos. La tecnología está bien establecida y representa un medio seguro de tratamiento que es fácilmente monitoreado y controlado. 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.

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 temperaturas y presión ambiente, por lo que probablemente requieran de un incremento, en la temperatura, el uso de un catalizador o de luz ultravioleta (Fochtman, 1989).

El tratamiento de residuos por oxidación se puede realizar por procesos continuos y semicontinuos; ambos emplean equipo muy similar ya que involucran la mezcla de dos líquidos acuosos, el residuo y el tratamiento químico o el contacto de una solución acuosa con gas. Algunas reacciones son rápidas, del orden de 1 a 2 seg y pueden llevarse a cabo en un reactor tal como la oxidación del bisulfito de sodio por hipoclorito de sodio. La mezcla de los reactivos en la tubería da como resultado una reacción rápida que puede monitorearse por los aumentos en la temperatura y el potencial de óxido-reducción. Las velocidades de reacción se incrementan a temperaturas elevadas aún cuando se requiere de un incremento en la energía y temperatura superiores a los 100°C y equipo de presión, estos cambios en el proceso deben tomarse en cuenta en los costos de operación y en el incremento del capital (Fochtman, 1989).

El problema principal de la óxido-reducción de metales, es la generación de grandes cantidades de volúmenes de lodos que, después de ser secados será necesario depositarlos aunque los metales son relativamente inertes cuando se convierten a hidróxidos. El mercurio reducido produce menos cantidad de lodos.

### **Estabilización/Solidificación**

En el manejo de residuos peligrosos, la solidificación/estabilización es un término normalmente utilizado para designar una tecnología que emplea aditivos para reducir la movilidad de los contaminantes, haciendo así al residuo aceptable a los requerimientos actuales de disposición en el suelo (Buel, 1989).

La solidificación y estabilización son procesos de tratamiento designados para mejorar el manejo de residuos y las características físicas, disminuir el área superficial a través de la cual los contaminantes se pueden transferir o infiltrar, limitar la solubilidad o desintoxicar los constituyentes peligrosos (Buel, 1989).

En la solidificación, estos resultados se obtienen primordialmente por la producción de un bloque monolítico de residuo tratado con una integridad estructural muy alta. La estabilización describe procesos que limitan la solubilidad o desintoxican el contaminante; las características físicas pueden o no mejorarse o modificarse. El término fijación se usa para proponer estabilización o solidificación. La encapsulación superficial se define como una técnica para separar el residuo con una chaqueta o membrana de material impermeable que se coloca entre el residuo y el ambiente (Cullinane, 1986).

Estos procesos se han aplicado a una gran variedad de residuos incluyendo residuos de acabado de metal, galvanoplastia, desecho de minas, lodos de efluentes de tratamientos, lodos, sedimentos y suelos ácidos o que contienen metales pesados, cenizas de incineración, lodos de la producción de alimentos y residuos de la emisiones de gas, suelos contaminados con residuos radiactivos, residuos que contienen compuestos orgánicos y en el tratamiento de suelos contaminados con policloruros de bifenilo. Los procesos de cementación son más propicios para residuos inorgánicos, especialmente aquellos que contienen cationes. Los residuos inorgánicos aniónicos y los residuos orgánicos son más apropiados para los procesos de encapsulación orgánica (World Bank, 1989).

### II.2.3.2 Tratamientos biológicos

Son muy similares a los empleados en el tratamiento de aguas residuales y se aplican a residuos peligrosos cuya toxicidad no es letal para los microorganismos.

Desde el punto de vista del tratamiento biológico, las bacterias pueden considerarse como diminutos reactores químicos automáticos. La oxidación biológica es la conversión bacteriana de elementos de sus formas orgánicas a sus formas inorgánicas más oxidadas. Este proceso se conoce como *mineralización* (Durán de Bazúa, 1994).

C-orgánico	----->	CO <sub>2</sub>
	bacterias	
H-orgánico	----->	H <sub>2</sub> O
	bacterias	
N-orgánico	----->	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>
	bacterias	
S-orgánico	----->	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
	bacterias	
P-orgánico	----->	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
	bacterias	

Las bacterias oxidan los contaminantes orgánicos disueltos en las aguas residuales para suministrarse suficiente energía que les permita sintetizar moléculas complejas como las de las proteínas y polisacáridos (carbohidratos), necesarios para construir nuevas células. El metabolismo bacteriano tiene dos mecanismos, el *catabolismo* (que significa ruptura) para obtener energía y el *anabolismo* (que significa construcción) para síntesis. La oxidación de desechos se conoce como *aerobia* cuando se usa oxígeno molecular como el agente oxidante. Cuando no se tiene oxígeno molecular para realizar estas reacciones de *mineralización*, al proceso se le conoce como *anaerobia*. En éste, haciendo una abstracción muy simplista puede decirse que la materia orgánica es degradada en dos etapas por dos grupos de bacterias anaerobias: las que convierten la materia orgánica a ácidos grasos, principalmente ácido acético y las que convierten estos ácidos en metano (Durán de Bazúa, 1994).

Entre los tratamientos biológicos empleados en residuos peligrosos destacan:

#### **Lodos activados**

El sistema de lodos activados o de aeración extendida se considera un sistema continuo donde los bioecosistemas están perfectamente mezclados con las aguas residuales y son posteriormente separados del agua ya tratada por medio de sedimentadores. Una porción de los lodos se reinocula a los reactores y el resto, conocidos como lodos secundarios, se envía a los sistemas de tratamiento de lodos.

Consiste de un reactor biológico o tanque aerador y un separador sólido-líquido. En el tanque aerador coexisten dos fases, el llamado licor de mezclado y los sólidos suspendidos en el licor de mezclado, que son los microorganismos activos que biooxidan a la materia orgánica presente.

Generalmente el proceso de lodos activados es capaz de degradar alcoholes, aldehídos, ácidos grasos, alcanos, alquenos, cicloalcanos y aromáticos. Algunos otros compuestos como los isoalcanos y los halogenados son más resistentes a la descomposición microbiana. Asimismo, el grado del tratamiento y de descomposición dependen del aclimatamiento de la biomasa en el sistema de lodos activados. Sin embargo, sólo residuos acuosos diluidos pueden tratarse normalmente, puesto que los residuos orgánicos más peligrosos son inhibidores tóxicos para el sistema, a menos que se encuentren en muy bajas concentraciones.

#### **Lagunas de aeración**

Las lagunas aeradas son sistemas que se aplican cuando las cargas orgánicas no son muy elevadas ya que no existe la recirculación de lodos. Se desarrollan a partir de los tanques de estabilización en zonas de clima templado o frío donde el oxígeno proveído por un número de aeradores era usado para suplementar el oxígeno generado por las poblaciones de algas en el invierno. Se encontró, sin embargo, que al poner los aeradores en operación las algas desaparecían y que los bioecosistemas eran muy similares a los sistemas de lodos activados (Figura H-4).

Estos sistemas son muy usados en el tratamiento de efluentes industriales ya que son mucho más económicos que los sistemas de lodos activados. Sin embargo requieren de grandes extensiones de terreno y, en ocasiones, estos no están disponibles.

Pueden ser clasificadas como lagunas aerobias o como facultativas, dependiendo de su perfil de oxígeno disuelto. En las aerobias, la cantidad de oxígeno disponible resulta suficiente para mantener un nivel mínimo de 2 ppm en toda la profundidad de la laguna así como tener un mezclador natural que impida la sedimentación de los sólidos biológicos. La sedimentación final o secundaria del sistema se logra en una segunda laguna de tipo facultativo o estanque de estabilización o en un sedimentador secundario. En las lagunas facultativas se tiene oxígeno disuelto solamente en las capas superiores pero no en las capas más profundas. Normalmente el mezclado es insuficiente para mantener oxigenada toda la laguna y para que las biocomunidades estén en suspensión por lo que parte de ellas se van al fondo descomponiéndose anaeróticamente allí. Las lagunas facultativas no cuentan normalmente con una clarificación final ya que ésta ocurre en forma natural en la propia laguna.

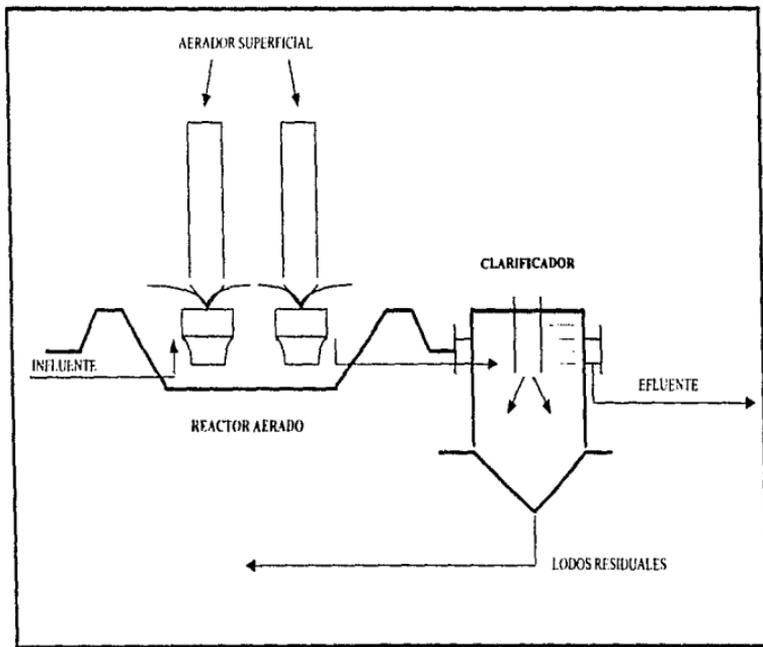


Figura 11.4 Diagrama de lagunas aeradas

### **Estanques de estabilización**

Son grandes tanques poco profundos en los que las aguas residuales son tratadas por procesos totalmente naturales basados en la actividad de algas y bacterias. Dado que la mano del hombre no contribuye más que para construir el embalse, la rapidez de oxidación es bastante lenta, por lo que los tiempos de residencia son relativamente altos. Este tipo de sistemas tienen ventajas para las zonas rurales de aproximadamente cien habitantes, ya que no hay costos de mantenimiento ni problemas en la remoción de bacterias fecales. Son idóneas para climas cálidos ya que la temperatura ambiente coadyuva a mejorar la rapidez de conversión.

### **Filtros de contacto**

Este proceso de filtración pone en contacto a los residuos acuosos con microorganismos aerobios por medio del escurrimiento del residuo acuoso en camas fijas de piedra o de un medio sintético que soporta a los microorganismos. Los residuos acuosos se distribuyen como rocío sobre la cama. La aeración de la cama se lleva a cabo debido a una convección natural por medio empacado y el ambiente. En algunos casos se emplea la convección forzada cuando las condiciones no son óptimas para que se lleve a cabo una convección natural.

Los filtros de contacto se aplican generalmente para el tratamiento de residuos del mismo tipo que los tratados con lodos activados, debido al corto tiempo de residencia del residuo acuoso en contacto con los microorganismos, el porcentaje de compuestos orgánicos removidos no es tan grande como en el tratamiento de lodos activados. El grado de remoción depende del medio usado. Los filtros de contacto son buenos para remover residuos constituidos por: acetaldehídos, ácido acético, acetona, acroleínas, alcoholes, beneno, butadienos, hidrocarburos clorados, cianuros, formaldehídos, ácido fórmico, cetonas, monoetanolaminas, dicloropropileno y resinas.

La ventaja de los procesos de filtro de contacto comparado con otros sistemas de tratamiento de residuos acuosos es el ahorro de energía necesaria para la agitación o para la formación de un área de contacto gas-líquido. La energía requerida es únicamente la necesaria para transferir el líquido y distribuirlo sobre las camas empacadas por lo que su costo de operación es bajo.

### **Reactores de discos rotatorios o biodiscos**

En estos reactores, se crea una capa microbiana sobre un medio de soporte sumergible que gira lentamente en forma horizontal axial en un tanque con el fluido de los residuos acuosos. La capa microbiana está expuesta sucesivamente a los nutrientes en los residuos acuosos y al aire en el medio de rotación. Esta función mantiene a la biomasa en condiciones aerobias. El medio de soporte es en forma de disco.

La principal ventaja de este sistema es su bajo requerimiento energético ya que, comparado con el sistema de lodos activados, consume un tercio de la energía que este último requiere. Además, puede soportar cambios drásticos en las cargas de alimentación y pueden instalarse de manera muy sencilla varias unidades en serie para obtener un alto grado de nitrificación.

## **Digestores o reactores**

Los digestores o reactores son tradicionalmente usados como procesos de soporte en el campo de los tratamientos biológicos. Sólidos orgánicos y lodos microbianos de las clarificaciones primaria y secundaria son procesados anaeróbiamente para reducir su volumen y lograr su estabilización. Debido al bajo consumo de energía y a la poca producción de sólidos comparados con los procesos aerobios, los procesos anaerobios son de suma importancia para el tratamiento de residuos industriales.

El proceso de contacto anaerobio, similar al proceso de lodos activados, está conformado por un gran digestor seguido de un clarificador. El digestor es un tanque cerrado con capacidad de mezclado. El mezclado debe estar acompañado de mecanismos de agitación, circulación de gas o bombeo. El tiempo de residencia de los residuos líquidos depende de la temperatura del digestor. El lodo se sedimenta en el clarificador y se recicla al digestor donde se manipulan una gran cantidad de microorganismos.

Comparado con los procesos de lodos activados aireados, los digestores requieren de menor energía, producen menor cantidad de lodos, así como de sulfatos ( $H_2S$ ), los cuales crean la precipitación de iones tóxicos de metales pesados y producen gas metano,  $CH_4$ , el cual puede utilizarse como fuente de energía, aunque sus tiempos de residencia son mucho mayores.

## **Composteo**

El proceso involucra una oxidación biológica, se puede efectuar mediante dos métodos: en tierra o en reactor. Los productos resultantes se pueden emplear como mejoradores del suelo. Puede aplicarse a residuos de tipo microbiológico como medios de cultivo, residuos resultantes de cuentas bacterianas o de las pruebas de control ambiental, todos ellos previamente esterilizados.

La biotecnología basada en el uso de microorganismos desarrollados selectivamente para degradar sustancias tóxicas específicas se ha empleado con éxito en las siguientes industrias: de refinación y extracción de petróleo, química, farmacéutica, textil y de pulpa de papel.

### **II.2.3.3 Tratamientos térmicos**

Los procesos térmicos se aplican a compuestos orgánicos primarios, pero pueden procesar la mayoría de los residuos sin importar su forma. Estos procesos pueden ser muy eficientes, pero también de costos muy elevados (Brunner, 1991).

Ofrece como ventajas que induce cambios permanentes en los residuos peligrosos; reduce su volumen considerablemente y permite la recuperación de energía, ya que es posible obtener importantes cantidades de vapor a alta presión, a partir de lo cual se puede generar calor y/o electricidad.

En el tratamiento térmico existen dos procesos principales; estos son, INCINERACION y PIROLISIS. La incineración se caracteriza por realizarse en presencia de oxígeno obteniéndose como productos bióxido de carbono, agua y cenizas. La pirolisis se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y se obtienen sustancias provenientes de la ruptura térmica de las moléculas iniciales, en ocasiones en forma de polímeros, hasta alcanzar el llamado "gas de síntesis".

## **Incineración**

La incineración es un método de tratamiento que consiste en la oxidación de los residuos, vía combustión controlada.

La mayoría de los residuos peligrosos están constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno con halógenos, azufre, nitrógeno y en ocasiones están presentes metales pesados. La estructura de la molécula generalmente determina qué tan peligrosa es una sustancia para la salud humana y para el ambiente. Si las moléculas pueden ser degradadas a bióxido de carbono, agua y sustancias inorgánicas asociadas, su toxicidad se reduce considerablemente.

Existen los siguientes tipos de incineración:

### **Incineración por inyección de líquidos**

El incinerador consiste de una cámara de combustión refractaria y una serie de atomizadores. El combustible y los residuos deben inyectarse separadamente. La eficiencia de combustión está limitada por las características de los atomizadores. Se utiliza para residuos que pueden ser atomizados por ejemplo, líquidos como los plaguicidas que son altamente solubles.

### **Incineradores de lecho fluidificado**

El incinerador es una cámara de material refractario con una cámara de material inerte, generalmente es arena, la cual se mantiene suspendida por medio de la inyección de aire. Este dispositivo puede emplearse para residuos líquidos o sólidos con un tamaño de partícula relativamente uniforme. Las ventajas que tienen los incineradores de lecho fluidificado son: un excelente mezclado, requerimientos mínimos para obtener el exceso de aire y capacidad para retener a los residuos gaseosos en el material del lecho. El precalentamiento y la inyección del aire dentro del lecho reducen los efectos de enfriamiento y habilitan al incinerador de residuos con valores bajos de calentamiento.

### **Incineración en horno rotatorio**

Los elementos clave en este proceso industrial de incineración son el horno rotatorio y la cámara secundaria de combustión, la cual asegura temperaturas mayores de 1350°C y un tiempo de residencia apropiado para obtener una incineración completa.

Las características principales de un horno rotatorio son las siguientes:

- Cilindro rotatorio, para residuos sólidos, líquidos o pastosos
- Temperatura de 1000 a 1200°C
- Tiempo de retención en la cámara, 2 a 3 segundos
- Cámara de poscombustión, 1200°C, retención cada 4 segundos
- Recuperación de calor, generación de vapor y/o electricidad

- Enfriador de gases de combustión ("Quench", en ingles)
- Torres de absorción de gases y purificación
- Sistema colector de cenizas
- Sistema de monitoreo de gases con control para gases de salida
- Depósito controlado para las cenizas
- Capacidad desde 2500 hasta 3000 toneladas por año

La figura II.5 muestra un horno rotatorio.

#### **Ventajas de los procesos de incineración**

La aplicación de la incineración reduce de manera considerable el volumen de los desechos simplificando su manejo y evita en gran medida la demanda de áreas dedicadas a confinamientos controlados (que representan grandes inversiones) y el riesgo permanente de tener almacenados residuos tóxicos y peligrosos.

La incineración es una excelente tecnología para disponer de sustancias con alto poder calorífico como son disolventes y polietileno que reduce la cantidad de combustible consumido.

Recuperación potencial de la energía calorífica que puede ser recirculada, utilizándose en otro proceso.

#### **Desventajas de los procesos de incineración**

La inversión inicial es mucho mas alta que otras tecnologías alternativas, debido al uso de equipos de incineración de alta eficiencia debidamente instrumentados y con sistemas de protección redundantes que garanticen la correcta operación del equipo. Es necesario instalar equipo anticontaminante para controlar y evitar las emisiones a la atmosfera y cumplir con las normas establecidas para garantizar la calidad d=1 aire.

La operación de los incineradores requiere de personal altamente calificado.

La operación de los incineradores es mucho mas compleja comparada con otras tecnologías, porque la variabilidad de la composición de los residuos y las severas condiciones de operación requieren de llevar a cabo una destrucción térmica eficiente.

El equipo requiere de un mantenimiento riguroso y continuo que garantice su óptima operación.

#### **Pirólisis**

La pirólisis se ha convertido recientemente en una alternativa viable como un proceso para la recuperación de recursos a partir de los residuos industriales peligrosos.

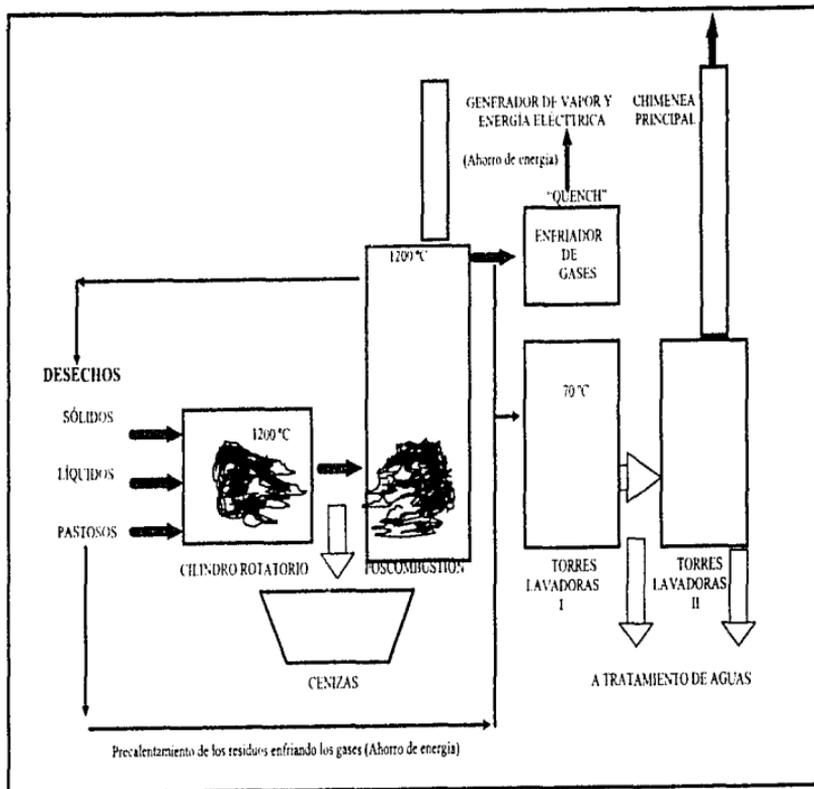


Figura 11.5 Sistema de incineración en horno rotatorio

La pirólisis es una descomposición de materia orgánica a temperaturas elevadas sin la presencia de oxígeno. Es un proceso endotérmico en el cual el calentamiento de los materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, como ya se dijo, da como resultado la ruptura de los compuestos en sus constituyentes. Las temperaturas aplicadas en la pirólisis de una mezcla de residuos industriales se da en intervalos comprendidos entre 500 y 900°C, obteniéndose:

- 1.- Fase gaseosa: hidrógeno, metano, monóxido y dióxido de carbono.
- 2.- Fase líquida: agua, alquitrán, aceite formado principalmente por benceno y otros compuestos orgánicos.
- 3.- Fase sólida: cenizas, carbonatos y sílice principalmente.

Estos productos y sus concentraciones varían de acuerdo a la composición de los residuos alimentados y a las condiciones de operación manejadas en el proceso.

Los productos obtenidos en la pirólisis pueden emplearse como combustibles, excepto el agua y las cenizas, obteniéndose así un efecto de contaminación mínimo.

Otros productos como son ácido acético, metanol y otros solventes obtenidos podrían ser revendidos.

Los productos de la pirólisis son dependientes del tiempo, temperatura, presión, presencia de catalizadores y composición de la corriente de alimentación; monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno se producirán de materiales oxigenados; amoníaco o nitrógeno de materiales nitrogenados como proteínas y poliuretanos; metano y etano se incrementan cuando el contenido de plástico aumenta en los residuos.

Las ventajas de un proceso de pirólisis radica en :

- Disposición de muchos residuos peligrosos
- Conversión de residuos industriales peligrosos en fuentes de energía
- Comercialización de productos combustibles
- Ambientalmente es un proceso seguro

Un horno rotatorio puede utilizarse para la pirólisis de residuos industriales peligrosos, mediante un proceso continuo o en intermitente. Sin embargo, antes de elegir un equipo de pirólisis deberán efectuarse los estudios pertinentes que permitan adquirir el sistema más simple, eficiente y limpio.

En México, aún no existen plantas de pirólisis de residuos industriales peligrosos; por lo que se tiene únicamente la experiencia existente en otros países donde se han obtenido buenos resultados en el tratamiento de residuos industriales. La principal desventaja en los procesos de pirólisis radica en la necesidad de preparar la materia prima, especialmente en el caso de los materiales sólidos, los cuales pueden ser heterogéneos pero de tamaño de partícula pequeño.

## **II.2.4 DISPOSICIÓN FINAL**

Sin considerar la utilización de técnicas de destrucción, tratamiento, y estabilización, siempre habrá remanentes de residuos peligrosos de algunos materiales que tienen que ponerse en algún lugar. Un caso favorable es el de los residuos de hidrocarburos que al ser incinerados, se obtienen como productos dióxido de carbono y agua que se descargan a la atmósfera. Pero algunas veces incluso los remanentes de la incineración se consideran residuos peligrosos (Manahan, 1990).

Se denomina disposición final a la acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente.

Solo existen dos alternativas para depositar los residuos: la disposición en tierra y la disposición en océanos (Tchobanoglous, 1993), esta última ha encontrado una gran oposición dados los efectos no cuantificables que podría generar.

La disposición final en tierra consiste en colocar los residuos encima o por debajo de la superficie terrestre. En algunos casos se mezclan con el suelo; en otros, se hacen esfuerzos para evitar el contacto con él. La disposición en tierra ha sido restringida y solo se permite para residuos tratados o residuos que cumplen determinadas especificaciones (Manahan, 1990).

### **Codisposición**

La codisposición es la disposición de los residuos peligrosos con los domésticos u otros residuos similares. El objetivo central es el de mantener la cantidad de residuos balanceada para asegurar que los procesos de atenuación no estan excedidos. Por lo tanto, es necesario el control de la cantidad de los residuos que entren. La codisposición se considera como una opción de la disposición segura y eficiente para muchos residuos peligrosos (Batstone, 1989).

Sin embargo, dado que algunos estudios han demostrado que, en el mediano y largo plazos puede resultar contraproducente, en europa la CEE ha prohibido su uso.

### **Aplicación en el suelo/Landfarming**

"Landfarming" es el termino en idioma ingles con el que se conoce al metodo de aplicación en el suelo, donde el sustrato organico de un residuo se degrada biologicamente en la parte superior del suelo. Este metodo tambien se considera como una forma de disposición de residuos.

Este proceso se desarrolló hace más de veinte años por la industria del petróleo para el tratamiento de sus residuos. Recientemente, se viene utilizando para el tratamiento de un gran número de residuos industriales, inclusive algunos clasificados como peligrosos. En esencia el "landfarmig" es un proceso que consiste de la mezcla del residuo con la parte superficial del suelo (15 a 20 cm), que normalmente se conoce como zona arable (O'Brien, 1989).

El suelo es el reactivo de este sistema de tratamiento y, por lo tanto, se debe estudiar detalladamente. Los parametros importantes a tener en cuenta son: los componentes del residuo que serán factor limitante en el establecimiento de las cantidades de aplicación y el área requerida para el tratamiento de una cantidad determinada de residuo. El criterio de diseño basado en el tratamiento en tierra no se puede transferir de una localidad a otra, sólo es general el método de recopilación de datos (O'Brien, 1989).

Una objeción de la aplicación en el suelo es que se requiere una gran extensión de terreno, además deben caracterizarse perfectamente el suelo y el residuo para saber si es conveniente utilizar esta técnica; de lo contrario representa una amenaza potencial al ambiente.

### **Confinamientos controlados**

Un confinamiento controlado es una instalación de disposición donde los residuos peligrosos se colocan en el suelo. Se intenta sepultar o alterar los residuos de tal manera que no representen un peligro para la salud pública o el ambiente. Los confinamientos no son homogéneos y generalmente se conforman de celdas, en las cuales se coloca un volumen específico de residuos peligrosos, aislandolos de las celdas adyacentes por una barrera apropiada. Las barreras entre celdas consisten comúnmente de una capa de suelo natural, generalmente arcillas, las cuales restringen el movimiento lateral o descendente de los lixiviados de los residuos peligrosos. Generalmente el rellenoamiento se continua por encima del nivel del terreno para utilizar eficientemente el espacio y suministrarse un nivel para el escurrimiento de la precipitación pluvial, en caso de existir. Ésta debe ser tratada. (Batstone, 1989)

Los confinamientos son un método común de manejo de residuos peligrosos tanto para los residuos no tratados como para los residuos de tecnologías de tratamiento y requieren una construcción cuidadosa así como un monitoreo y mantenimiento continuos (Batstone, 1989).

Hasta el momento, el país cuenta con un solo confinamiento controlado en operación y es el de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V. (RIMSA) en el municipio de Mina, Nuevo León.

## **II.2.5 FACTORES IMPORTANTES EN LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS**

Dentro de los factores importantes para definir qué tecnología debe usarse para estabilizar y disponer de residuos peligrosos están los siguientes:

- 1.- Tipo de residuo: se refiere a la caracterización de los componentes del residuo por ejemplo, todos que contienen metales pesados, aceite contaminado, sulfato de bario contaminado, etc.
- 2.- Forma o estado físico del residuo: se encuentran principalmente en estado sólido, semisólido o líquido.
- 3.- Cantidad: se refiere al volumen de residuos que requieren tratamiento.
- 4.- Economía relativa del tratamiento: es uno de los puntos determinantes para la elección de la(s) tecnología(s) de tratamiento. Se requiere un análisis de los costos de operación, la infraestructura existente, costos de inversión y costos de mantenimiento, así pues, la elección, además de tomar en cuenta las características fisicoquímicas del residuo, estará determinada por los factores de índole económico y por supuesto de la infraestructura que exista, así como de los requerimientos de personal capacitado.
- 5.- Legislación: Es indispensables que las opciones seleccionadas se encuentren acordes a las leyes vigentes, pues solamente así, se podrá contar con un control adecuado que realmente proteja al ambiente.

## II.3 GENERALIDADES PARA PLATA, MERCURIO Y CROMO

### II.3.1 PLATA

#### II.3.1.1 Generalidades

La plata es un metal blanco, brillante, suave y maleable, presenta una alta conductividad eléctrica y térmica. Químicamente es menos reactiva que el cobre, excepto frente al azufre y ácido sulfhídrico; este último ennegrece rápidamente la superficie de la plata, por formación de sulfuro de plata. El metal se disuelve en ácidos oxidantes, en solución de cianuro y en presencia de oxígeno o peróxido (Burriel, 1989).

La plata se encuentra nativa en la naturaleza, a veces en masas hasta de 100 kg. Los minerales de plata más importantes son: la argentita ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), la estromeyerita ( $\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Ag}_2\text{S}$ ), y la pirargirita ( $\text{Sb}_2\text{S}_3\cdot 3\text{Ag}_2\text{S}$ ). La clorargirita ( $\text{AgCl}$ ), se encuentra en pequeñas cantidades. Los yacimientos mayores se encuentran en México (suministra más de un tercio de la producción mundial), Estados Unidos de Norteamérica, Canadá (Ontario), Australia, Sajonia, Hungría y Siberia. El agua de mar tiene trazas de sales de plata. Los minerales del plomo suelen contener también algo de plata. Al beneficiar el plomo, la plata queda retenida por el plomo. La plata pura comercial suele contener cobre y otros metales.

La plata cristaliza en octaedros regulares en el sistema cúbico de cara centrada, su peso específico es de 10.5, hierve a  $1955^\circ\text{C}$  dando entonces vapor azul monoatómico. La plata fundida absorbe veinte veces su volumen de oxígeno, perdiéndolo de nuevo al solidificarse. La plata es un metal noble. Se llaman metales nobles a aquellos que son muy resistentes a las acciones químicas y que no se combinan con el oxígeno a la presión ordinaria ni aún a la temperatura elevada.

#### II.3.1.2 Propiedades químicas

Pertenece al grupo Ib de la tabla periódica, posee una estructura cortical externa  $3d^{10}, 4s^1$  y puede funcionar en sus compuestos con los grados de oxidación (I), (II), (III), en medio acuoso solo se encuentra como monovalente.

De los distintos estados de oxidación, el catión más estable en disolución es el  $\text{Ag}^+$ , incoloro (saturación del orbital externo  $3d$ ) por lo que las reacciones analíticas de este elemento se basan en las características de este catión.

Los estados de oxidación superiores de la plata,  $\text{Ag(II)}$  y  $\text{(III)}$  son muy inestables como iones libres (muy ácidos y oxidantes); sin embargo, se pueden estabilizar por formación de precipitados o complejos; las formas más conocidas son los óxidos  $\text{AgO}$  y  $\text{Ag}_2\text{O}_3$  y el complejo nitrato de  $\text{Ag(II)}$ , que permite una relativa estabilidad de sus soluciones. El óxido  $\text{AgO}$  es muy fácil de obtener y es utilizado como oxidante fuerte, fundamentalmente en oxidaciones orgánicas.

El metal no puede ser disuelto por ácidos no oxidantes. Su mejor disolvente es el ácido nítrico. También se disuelve en el ácido sulfúrico concentrado y caliente, lo que se aplica a la separación de sus aleaciones con el oro, que permanece insoluble. No es atacado apreciablemente por los hidróxidos alcalinos fundidos, propiedad que se aplica a la fabricación de crisoles de plata para fusiones alcalinas.

El catión  $\text{Ag}^+$  es un poco más oxidante que el catión  $\text{Fe}^{3+}$ , por lo que es fácilmente reducible; sin embargo, su potencial se hace mucho más reductor en presencia de  $\text{Cl}^-$  o de otros aniones que precipiten o complejen al catión.

Los compuestos de plata más solubles en agua son el nitrato, fluoruro y clorato. Los más insolubles son el sulfuro y los halogenuros.

### II.3.1.3 Reacciones

#### 1.- Hidróxidos alcalinos fuertes

Originan precipitado pardo de  $\text{Ag}_2\text{O}$ , insoluble en exceso de reactivo, fácilmente soluble en ácido nítrico y en amoníaco:



Las soluciones amoniacales de óxido de plata suelen depositar, por reposo, cristales negros, una vez secos, son fuertemente explosivos (plata fulminante).

#### 2.- Ácido sulfhídrico

Precipitado negro de  $\text{Ag}_2\text{S}$ , insoluble en amoníaco, en sulfuros o polisulfuros alcalinos y en soluciones no muy concentradas de cianuro potásico soluble fácilmente en ácido nítrico diluido y caliente y con más dificultad en soluciones concentradas de cianuro potásico.



#### 3.- Precipitación con cloruro

El ion  $\text{Cl}^-$  es reactivo general del catión  $\text{Ag}^+$  en cuanto sirve para separarle de otros cationes y también especial, porque puede servir para identificación del mismo. Forma un precipitado blanco, cuajoso, que oscurece a la luz, insoluble en los ácidos fuertes y soluble en gran exceso de  $\text{Cl}^-$ .



## 2.- Ácido sulfhídrico

Origina precipitado negro de sulfuro mercúrico. En medio fuertemente ácido puede precipitar diversos sulfocloruros de color blanco, amarillo y rojo, sucesivamente, antes de llegar a la forma de sulfuro negro:



## 3.- Yoduro potásico

Forma un precipitado rojo de  $\text{HgI}_2$ , fácilmente soluble en exceso de reactivo por formar el complejo  $\text{HgI}_4^{2-}$ :



### II.3.2.4 Usos en la industria

En amalgamas con excepción del hierro, todos los demás metales, pueden ser amalgamados con mercurio. Amalgamas de sodio y potasio son utilizadas como agentes reductores. El mercurio se utiliza como cátodo en celdas electrolíticas para obtención de cloro e hidróxido de sodio (Fishman, 1970).

Los cloruros, óxidos, sulfatos, acetatos y fosfatos de mercurio son buenos catalizadores para muchas reacciones químicas.

En aparatos eléctricos donde su estabilidad, fluidez, alta gravedad específica y conductividad eléctrica son únicas, también se utiliza en lámparas de mercurio de baja presión o fluorescentes y de alta presión utilizados en alumbrado público. Estas lámparas, son utilizadas también en fotocopiado, proyección de películas, fotografía.

El mercurio es utilizado en termómetros, barómetros, osiloscopios, contactos, computadoras.

El  $\text{HgO}$  es utilizado en pinturas y como reactivo, el  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  es utilizado en lo que se conoce como calomelanos en electrodos.

### II.3.2.5 Toxicidad

Los compuestos de  $\text{Hg(I)}$  son tóxicos, aunque menos que los de  $\text{Hg(II)}$ . Así el  $\text{HgCl}_2$  tiene una elevada toxicidad, mientras que el  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , que se ha utilizado como purgante, no es tóxico debido a su insolubilidad en los ácidos del aparato digestivo (Hans, 1988).

Exposición repetida en animales puede producir anemia, crecimiento cardíaco, retardo en el crecimiento y cambios regenerativos en el hígado.

No ha sido reportado un tratamiento efectivo para la argiriosis. La terapia de quelatación se ha reportado que no es efectiva.

## **II.3.2 MERCURIO**

### **II.3.2.1 Generalidades**

El mercurio es conocido y usado hace más de 2,000 años. La introducción del mercurio en la investigación científica, ocurrió en 1643 con la invención del barómetro de Torricelli, el cual usó el mercurio para la determinación de la presión atmosférica. En 1720, Fahrenheit inventó el termómetro de mercurio (Buriel, 1989).

El mercurio es el único metal líquido a las temperaturas ordinarias. Se solidifica a  $-38.87^{\circ}\text{C}$  y hierve a  $356.9^{\circ}\text{C}$ . Tiene color blanco como la plata con un ligero matiz azulado. Cuando el mercurio se solidifica, el metal se contrae y cristaliza con el sistema romboédrico.

Su alta conductividad térmica, ocasiona que el mercurio pueda ser usado como agente refrigerante. Su baja resistividad eléctrica, ocasiona que el mercurio pueda ser usado en contactos eléctricos.

Su alta volatilidad es incomparable con respecto a los demás metales.

El mercurio es el único elemento, junto con los gases raros, que forma vapor monoatómico a temperatura ambiente, por lo que resulta muy contaminante.

### **II.3.2.2 Propiedades químicas**

Pertenece al grupo IIb de la Tabla Periódica y su estructura cortical externa es  $5d^{10}, 6s^2$ . A pesar de la semejanza electrónica con los elementos de su grupo (Zn y Cd), las analogías de tipo analítico son escasas.

Funciona con los grados de oxidación (I) y (II), originando los compuestos mercuriosos y mercurícos, respectivamente. El estado de oxidación (I) es sólo aparente, ya que en realidad es un dímero formado por dos iones  $\text{Hg(II)}$  unidos por enlace covalente,  $^{\pm}\text{Hg-Hg}^{\pm}$ .

#### **Hg(I)**

El catión es incoloro, como lo son las sales solubles mercuriosas. Por sus propiedades analíticas, el  $\text{Hg}_2^{2+}$  tiene ciertas analogías de comportamiento con  $\text{Ag}^+$  y  $\text{Tl}^+$ , precipitando los tres cationes cloruros insolubles.

El catión mercurioso es un catión bastante ácido que necesita acidez libre para existir en medio acuoso. Si la acidez no es suficiente puede precipitar sales básicas blancas o amarillas.

El cloro ataca al metal formando  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  (diferencia de hipocloritos que originan óxido amarillo,  $\text{HgO}$ , u oxiclورو mercuríco,  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2\text{O}$  pardo).

Tanto el mercurio metálico como el ión mercurioso son reductores débiles, excepto cuando actúan en presencia de agentes complejantes del  $\text{Hg(II)}$ .

El catión mercurioso solo es estable en medio ácido, y a  $\text{pH} > 3.5$  el catión sufre una dismutación que origina  $\text{HgO}$  y  $\text{Hg}$ .

En presencia de algún anión que establece al catión mercurioso como el  $\text{Cl}^-$  se impide la dismutación, debido a que la estabilidad del precipitado ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) es mayor que la del precipitado de  $\text{HgO}$ , siempre y cuando no se rebasa un  $\text{pH} > 11$ .

Los compuestos mas insolubles del  $\text{Hg(I)}$  son:  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  blanco que ennegrece con amoniaco, por lo que ha recibido el nombre de calomel o calomelanos;  $\text{Hg}_2\text{I}_2$ , amarillo vivo;  $\text{Hg}_2(\text{SCN})_2$ , blanco sedoso. La insolubilidad y color de estas sales tienen una gran semejanza con las correspondientes de  $\text{Ag(I)}$ .

### **Hg(II)**

Es incoloro y tiene gran tendencia a formar compuestos covalentes poco disociados, incluso con aniones inorgánicos, como es el caso del  $\text{HgCl}_2$  o el  $\text{Hg}(\text{CN})_2$ ; estas especies neutras no tienen carácter salino, son compuestos muy poco disociados; el  $\text{Hg}(\text{CN})_2$  deja tan baja concentración de  $\text{Hg}^{2+}$  en solución que no reacciona con sus reactivos ordinarios, excepto con el sulfuro. A esta tendencia se debe el hecho de que el  $\text{Hg(II)}$  entre a formar parte, fácilmente, en numerosas combinaciones orgánicas. Naturalmente, a diferencia del  $\text{Hg(I)}$ , forma numerosos complejos (Burriel, 1989).

Su acción deformante sobre los aniones con los que puede formar compuestos insolubles es grande y por esta razón son fuertemente coloreados, aunque el anión sea incoloro, (sulfuro, negro; óxido, rojo; yoduro, rojo, etc).

El catión mercurio es un oxidante moderado en medio ácido, en medio alcalino es menos oxidante por formarse la especie  $\text{HgO}$ .

En las disoluciones acuosas de sus sales disociadas (nitrato, perclorato) el catión  $\text{Hg}^{2+}$  se comporta como un catión ácido que se hidroliza fuertemente, por lo que las citadas disoluciones necesitan acidez libre para estabilizar el catión. Si la acidez disminuye precipitan sales básicas por formación de compuestos insolubles con el catión  $\text{HgOH}^+$ , de color amarillo o rojo.

El  $\text{HgO}$ , amarillo en frío y rojo en caliente, precipita a un  $\text{pH}$  de 2.4; este óxido es prácticamente insoluble incluso a valores altos de  $\text{pH}$ .

Cuando la especie disuelta está poco disociada, como ocurre con el  $\text{HgCl}_2$ , el comportamiento ácido-base se ve modificado por la mayor estabilización del  $\text{Hg}^{2+}$ ; así el cloruro mercuríco no precipita el óxido hasta un  $\text{pH}$  próximo a 7.

Las sales mas solubles son: nitrato, cloruro y cianuro. Las sales mas insolubles son: HgS, negro; HgI<sub>2</sub>, rojo; HgO, amarillo o rojo.

### 11.3.2.3 Reacciones

#### Hg(I)

##### 1.- Hidróxidos alcalinos fuertes

Inicialmente se forma un precipitado negro de óxido de mercurio (I)



Lentamente en frío y más rápidamente si se calienta, el precipitado toma color gris de una mezcla de mercurio elemental (negro) y óxido mercuríco (amarillo), originados en la dismutación del óxido mercurioso:



##### 2.- Ácido sulfhídrico

Precipitado negro mezcla de mercurio metálico y de sulfuro mercuríco (II)



##### 3.- Anión cloruro

Origina precipitado blanco denso, de Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (calomelanos). Diferencia de Hg<sup>2+</sup>, que no precipita. El Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> se disuelve en el agua regia, o en el agua de bromo, oxidándose a Hg<sup>2+</sup>:



#### Hg(II)

##### 1.-Hidróxidos alcalinos fuertes

Con pequeñas concentraciones de alcali origina sal básica, amarilla o pardo rojiza de composición variable. Si se continúa la adición de alcali, al llegar a un pH alrededor de 2 precipita óxido mercuríco (II), amarillo, ligeramente soluble en exceso de alcali y fácilmente soluble en ácidos.



## 2.- Ácido sulfhídrico

Origina precipitado negro de sulfuro mercuríco. En medio fuertemente ácido puede precipitar diversos sulfocloruros de color blanco, amarillo y rojo, sucesivamente, antes de llegar a la forma de sulfuro negro:



## 3.- Yoduro potásico

Forma un precipitado rojo de  $\text{HgI}_2$ , fácilmente soluble en exceso de reactivo por formar el complejo  $\text{HgI}_4^{2-}$



### II.3.2.4 Usos en la industria

En amalgamas con excepción del hierro, todos los demás metales, pueden ser amalgamados con mercurio. Amalgamas de sodio y potasio son utilizadas como agentes reductores. El mercurio se utiliza como cátodo en celdas electrolíticas para obtención de cloro e hidróxido de sodio (Fishman, 1970).

Los cloruros, óxidos, sulfatos, acetatos y fosfatos de mercurio son buenos catalizadores para muchas reacciones químicas.

En aparatos eléctricos donde su estabilidad, fluidez, alta gravedad específica y conductividad eléctrica son únicas, también se utiliza en lámparas de mercurio de baja presión o fluorescentes y de alta presión utilizados en alumbrado público. Estas lámparas, son utilizadas también en fotocopiado, proyección de películas, fotografía.

El mercurio es utilizado en termómetros, barómetros, osciloscopios, contactos, computadoras.

El  $\text{HgO}$  es utilizado en pinturas y como reactivo, el  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  es utilizado en lo que se conoce como calomelanos en electrodos.

### II.3.2.5 Toxicidad

Los compuestos de  $\text{Hg(I)}$  son tóxicos, aunque menos que los de  $\text{Hg(II)}$ . Así el  $\text{HgCl}_2$  tiene una elevada toxicidad, mientras que el  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , que se ha utilizado como purgante, no es tóxico debido a su insolubilidad en los ácidos del aparato digestivo (Hans, 1988).

Los compuestos de Hg(II) son fuertemente tóxicos. El  $HgCl_2$ , sublimado corrosivo, que se encuentra con frecuencia en las prácticas docentes, es mucho más tóxico cuando penetra en el organismo por vía pulmonar, lo que se debe tener muy en cuenta cuando se evapora una disolución que contiene dicha sal, ya que el "HgCl" en disolución destila apreciablemente a la temperatura del baño María.

La absorción de vapores o polvos mercuriales por el cuerpo humano se conoce como *noiva* desde hace bastantes siglos.

Para el manejo del mercurio y sus compuestos, es necesario utilizar equipo de protección como impermeables, guantes, lentes de protección, y respiradores con absorbentes especiales. Estas precauciones son necesarias para prevenir la inhalación, la ingestión y absorción del mercurio.

En California, el límite tolerado es de 0.15 mg/m<sup>3</sup>. La absorción de mercurio se realiza por la vía respiratoria, piel y vía gastrointestinal. Si hubiera una explosión de aire que contiene 0.1 mg/m<sup>3</sup> de mercurio esta cantidad sería excretada en 24 horas por la orina, heces, lágrimas y saliva. El organismo humano es capaz de absorber y excretar en algunos casos, cantidades tan altas como 2 mg/día sin presentar ningún síntoma de intoxicación.

Los compuestos fenilmercuriales son considerados mucho menos tóxicos que los derivados alquílicos y pueden ser comparados con los compuestos mercurícos inorgánicos.

La toxicidad por inhalación de vapor de mercurio provoca carraspera, temblores, malestares abdominales y otros síntomas acompañados con excreción en la orina, se ha demostrado también que altas concentraciones de mercurio en el aire daña los tejidos pulmonares.

El mercurio en el cuerpo tiene alta afinidad por grupos sulfhidrílos, iones cloruro y aminas y esto ocasiona que el mercurio inhiba la ureasa, invertasa y otras enzimas que contienen grupos SH, el mercurio puede bloquear la vía metabólica de la glucosa.

Los antidotos empleados provocan la quelatación el metal para que éste sea inactivado y excretado, entre estos están: N-acetilfenilcilamina, el 2,3 dimercaptopropanol (BAL) y ácido etilendiaminotetraacético.

### 11.3.3. CROMO

#### 11.3.3.1 Generalidades

Descubierto por el químico Vauquelin en 1797, le dio el nombre de *chrome*, que procede del griego *Chroma*, que significa color, en atención a que todos los compuestos conocidos de cromo, sólidos o en disolución, son coloreados.

Pertenece al grupo VIa de la Tabla Periódica y tiene una estructura cortical externa  $3p^6, 3d^5, 4s^1$

El cromo considerado habitualmente como "puro" es de color blanco brillante, quebradizo y tan duro que raya el vidrio. Pero el cromo "purísimo", obtenido en condiciones especiales, libre de impurezas, no es duro ni quebradizo, sino dúctil, por lo que la dureza y la fragilidad se considera que son debidas a pequeñas impurezas de óxido, carburo o nitruro (Burriel, 1989)

El cromo es extraordinariamente resistente químicamente a temperatura ordinaria. Tiene su punto de fusión considerablemente alto (1800°C) pero de ebullición no es proporcionalmente alto (2300°C a presión atmosférica). No se oxida notablemente con el aire, algunas veces en la presencia de humedad aparecen manchas superficiales; cuando se calienta, se quema, especialmente, a la flama de soplete de oxígeno y también cuando se calienta con clorato de potasio o nitrato de potasio.

Se disuelve en ácido clorhídrico acuoso o en ácido sulfúrico, no tiene acción sobre el ácido nítrico concentrado o diluido ni el agua regia en frío.

### II.3.3.2 Propiedades químicas

Los estados de oxidación más frecuentes para el cromo son : (II) (III) y (VI), originando compuestos cromosos, cromicos y cromatos (dicromatos), respectivamente, además se conocen compuestos de Cr(IV) y Cr(V).

El sistema Cr(II) Cr es bastante reductor, lo que condiciona que el metal se disuelva fácilmente en ácido clorhídrico, concentrado y diluido, con desprendimiento de hidrógeno. En ausencia de aire (atmósfera inerte) se obtiene  $Cr^{2+}$ , y en presencia de aire,  $Cr^{3+}$ , o mezcla de  $Cr^{2+}$  y  $Cr^{3+}$ .

El ácido sulfúrico diluido ataca lentamente al cromo, con desprendimiento de hidrógeno y formación de  $Cr^{2+}$ , o  $Cr^{3+}$ , según exista o no oxígeno presente. El ácido sulfúrico concentrado y caliente disuelve fácilmente al cromo, originando  $Cr^{3+}$  y desprendiendo  $SO_2$ :



El ácido nítrico, diluido o concentrado, no ataca al cromo, al que pasiva, por formación de una capa de óxido, con lo que se hace insoluble en los ácidos, incluso en el sulfúrico concentrado y frío y en el agua regia. El efecto de pasivado hace que el metal no se ataque por el cloro seco, vapores nitrosos, dióxido de azufre, sulfúrico, álcalis cáusticos, etc. El ácido perclórico concentrado ataca y disuelve al cromo y a sus aleaciones, originando Cr(VI) (dicromato).

El Cr(II), muy reductor en todo el margen de pH, es muy fácilmente oxidado a Cr(III), incluso por el oxígeno disuelto o el ambiental, por lo que apenas tiene existencia en medio acuoso, a no ser que se consiga estabilizar esta valencia o inhibir la oxidación.

El potencial del sistema Cr(VI) Cr(III) depende del pH del medio. En un medio suficientemente ácido las sales Cr(VI), dicromatos, son oxidantes enérgicos que oxidan cuantitativamente (dicromatos) al  $Fe^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $I^-$  y  $C_2H_5OH$ , entre otros.



A medida que el pH aumenta el Cr(VI) se hace menos oxidante por lo que la utilización de cromatos como oxidantes en medios alcalinos es muy restringida.

Los grados de oxidación Cr(IV) y Cr(V) se forman como intermediarios (no estables) en las reacciones redox en que interviene el sistema Cr(IV) Cr(III). Además, se conocen algunos compuestos sólidos de Cr(IV), como el CrO<sub>2</sub>, de importancia industrial por su ferromagnetismo, y del Cr(V).

### Cr(II)

Todos los compuestos cromosos son inestables al aire, en el que se oxidan rápidamente a compuestos de Cr(III). En disolución originan al catión Cr<sup>2+</sup>, azul, muy reductor, que reduce lentamente al hidrógeno del agua, desprendiendo hidrógeno elemental. La facilidad con la que se oxida el Cr<sup>2+</sup> justifica que no se encuentre prácticamente en disolución acuosa y que no sea objeto de investigación cualitativa.

Pueden ser más o menos estabilizados en medio acuoso por formación de complejos con acetato, etilendiamina, cianuro y tiocianato. Los complejos con hidracina son bastante estables pero insolubles en agua. En presencia de polialcoholes se inhibe la oxidación atmosférica, estabilizándose las soluciones de Cr<sup>2+</sup>, con lo que se consigue aprovechar el gran poder reductor de esta especie para efectuar valoraciones redoximétricas.

### Cr(III)

Origina las sales crómicas y sus compuestos, que junto con los cromatos (grado de oxidación VI) constituyen los compuestos de cromo más importantes desde el punto de vista analítico.

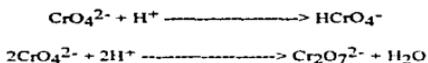
Las sales solubles en agua originan el catión Cr<sup>3+</sup>, que lógicamente no se encuentra libre sino formando acuocomplejos simples, o mixtos con los aniones existentes en la disolución. La diversidad de estos complejos determina el color de las soluciones de cromo, que presentan tonalidades verde, violeta y en ocasiones gris.

En medios ácidos predomina la especie Cr<sup>3+</sup> coexistiendo con las formas básicas CrOH<sup>2+</sup> y Cr(OH)<sup>2+</sup>. A valores de pH próximos a 5 precipita el óxido hidratado que se suele formular como Cr(OH)<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O. El precipitado es bastante estable, si bien puede disolverse en medios alcalinos para dar cromitos, siendo el CrO<sup>2-</sup>, verde, la especie predominante; posiblemente también existan las formas Cr(OH)<sub>5</sub><sup>2-</sup> y Cr(OH)<sub>6</sub><sup>3-</sup>. Los cromitos en general no son muy estables y reprecipitan el hidróxido por simple ebullición.

### Cr(VI)

En este estado de oxidación el cromo presenta una relación carga/radio tan elevada que no puede formar cationes en medio acuoso, sino aniones oxigenados como CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, etc.

En medios alcalinos la especie predominante es el ion cromato, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, amarillo; a valores de pH próximos a 6; el cromato acepta protones transformándose en HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> y Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, de color rojo naranja;



El equilibrio entre las especies  $\text{HCrO}_4^-$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  está condicionado por la concentración; a concentraciones elevadas predomina el dímero  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ; a bajas concentraciones predomina  $\text{HCrO}_4^-$ .

En medios más ácidos se forma el ácido crómico  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ .

Los compuestos más importantes de cromo (VI) son los cromatos y los dicromatos metálicos, todos ellos coloreados. Los cromatos más insolubles son  $\text{PbCrO}_4$ , amarillo,  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ , rojo,  $\text{Tl}_2\text{CrO}_4$ , amarillo,  $\text{HgCrO}_4$ , amarillo y los más solubles los  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ . Todos ellos son solubles en ácidos más o menos fuertes.

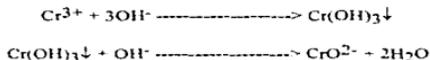
Los dicromatos son solubles, siendo la especie  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  el compuesto más importante de cromo (VI); es rojizo en estado cristalino y se torna amarillo al pulverizarlo. Es ampliamente utilizado como oxidante en los laboratorios y ciertas industrias.

### II.3.3.3 Reacciones

#### Cr(III)

##### 1.-Hidróxidos alcalinos fuertes

Precipitado gris verdoso, o violáceo, gelatinoso, de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , soluble en frío, en exceso de reactivo, dando una solución viscosa que contiene al anión cromito  $\text{CrO}_2^-$ .



Si la disolución alcalina que contiene el cromito se diluye y se hierve, ocurre un proceso hidrolítico con reprecipitación cuantitativa del hidróxido.

##### 2.- Carbonatos alcalinos

La alcalinidad proporcionada por la hidrólisis es suficiente para que precipite el hidróxido de cromo, más estable que el carbonato:



El mismo comportamiento, y por idéntica razón, tiene el carbonato de bario, el tiosulfato de sodio, el sulfuro de amonio y el cianuro de potasio.

### 3.- Ácido sulfhídrico

El  $H_2S$  no reacciona con el  $Cr^{3+}$  en medio ácido; en medio alcalino tampoco es posible la obtención de  $Cr_2S_3$  debido a que es más estable el hidróxido  $Cr(OH)_3$ . Por consiguiente, el sulfuro de cromo sólo puede obtenerse en ausencia de agua, es decir, por vía seca.

#### Cr(VI)

##### 1.-Peróxido de hidrógeno

En medio ácido, el Cr(VI) reacciona con el  $H_2O_2$  originando un pentóxido de cromo,  $CrO_5$ , de color azul intenso, extraíble en éter o en alcohol amílico:



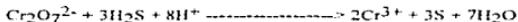
El pentóxido contiene dos grupos peroxi, por lo que también se llama peróxido de cromo.

##### 2.- Reactivos de precipitación

El  $CrO_4^{2-}$  precipita sales coloreadas con muchos cationes. Tiene interés analítico y, a veces, se utilizan con fines de identificación, el precipitado rojo de  $Ag_2CrO_4$ , o los amarillos de  $PbCrO_4$  y  $BaCrO_4$ , obtenidos con los cationes correspondientes en medio acético y solubles en ácidos fuertes.

##### 3.- Ácido sulfhídrico

Los cromatos y dicromatos, en medio ácido, son reducidos por el  $SH_2$  a  $Cr^{3+}$ , con precipitación de azufre:



La oxidación del  $H_2S$  puede llegar incluso a sulfato, por lo que es necesaria la eliminación de Cr(VI), por reducción.

Si la acción del  $H_2S$  sobre soluciones que contienen Cr(VI) se efectúa en medio poco ácido, el Cr(III) resultante se estabiliza como  $Cr(OH)_3$ .

#### II.3.3.4 Usos en la industria

El cromo metálico encuentra su principal uso en la industria acerera, los aceros de cromo son característicos por su dureza y resistencia y, por lo tanto, son empleados para herramientas y particularmente en partes de máquinas sometidas a grandes tensiones como los baleros. Otras aleaciones como las de bronce y latón son también frecuentemente endurecidas al adherir cromo. Una aleación Ni-Cr-Fe en alambre forma nicromo, que se usa en las resistencias de hornos eléctricos. El cromo es el más duro de los metales usuales y es muy apropiado para la producción de recubrimientos protectores. El cromado electrolítico ha encontrado amplia aplicación en la industria automovilística, así como para muchos otros objetos especialmente de cocina (electrodomésticos, baterías de cocina, etc) (Benítez-Sánchez, 1989).

Los compuestos de cromo son más ampliamente usados que el cromo metálico. Sales de Cr(III) y cromatos son usados para la industria de colorantes como mordentes. En la industria pelotera sirven para la producción de piel-Cr más durable. Se ha encontrado aplicación en fotografía. Numerosos compuestos de cromo son empleados como pigmentos minerales. Amarillo cromo (cromato de plomo), naranja cromo (cromato básico de plomo), verde cromo (óxido de cromo(III)).

### II.3.3.5 Toxicidad

No hay evidencia de que el cromo normalmente en la dieta produzca efectos adversos en la salud. Sin embargo, la ingestión de grandes cantidades de dicromato de potasio han causado muerte.

El cromo hexavalente es mucho más tóxico que el trivalente. Exposiciones crónicas de polvo de cromato han sido correlacionadas con incidencia incrementada de cáncer pulmonar y una administración oral de 50 ppm de cromato en la dieta ha sido asociada con depresión en el crecimiento y daños en hígado y riñón en animales de experimentación (Hans, 1988).

Se toman en general, como potencialmente carcinogénicos a los compuestos de cromo hexavalente y se niega esta capacidad a los trivalentes. Entre los compuestos hexavalentes, se señala a los compuestos monocromados como los principales carcinógenos.

El dicromato de potasio es el primero en número de casos por compuesto que provocan dermatitis.

Se señalan diversas actividades en las se ha encontrado dermatitis por cromo: galvanizado, impresión con tintas de cromo, industria del cemento, curtiduría comercial, pintura y ensamblajes de automóviles, molinos de madera, plantas de aviones, equipos de aire acondicionado, producción de cromatos, cromado, fotografía y litografía, pantallas de televisión a color, industria de construcción. También en algunos productos como: detergentes, blanqueadores, cerillos, acero inoxidable, preparados químicos para la agricultura.

Es muy amplio el número de industrias relacionadas a la dermatitis por cromo (algunas de ellas con producción a gran escala, lo que implica un gran número de trabajadores expuestos).

Las afecciones respiratorias son los efectos más comúnmente provocados por la inhalación de polvos de cromatos y de gases de ácido crómico en los trabajadores.

Son muy diversas las manifestaciones clínicas descritas de afecciones respiratorias: ulceración y perforación del tabique nasal, mucosa inflamada, irritación de la conjuntiva, rinitis crónica, sinusitis, emfisema, traqueitis, bronquitis crónica, catarro, bronconeumonía, faringitis, asma.

Se señala que el cromo es absorbido pobremente en el tracto gastrointestinal; en la forma hexavalente un poco más que en la trivalente; sin embargo, los trastornos gastrointestinales, siendo menos frecuentes que los del sistema respiratorio son más dolorosos y fáciles de identificar; el vómito y la diarrea son síntomas notables que aparecen desde que la intoxicación por ingestión de cromo es incipiente.

El cromo en su forma hexavalente y trivalente, pueden provocar trastornos en el sistema nervioso central.

## III METODOLOGÍA

### III.1 ANÁLISIS DEL RESIDUO

#### III.1.1 MUESTREO

El residuo generado después de realizada la demanda química de oxígeno (DQO), se fue almacenando en tanques de polietileno de alta densidad de 200L, llegando a tener 4 tanques totalmente llenos.

Para realizar el análisis de muestreo, fue necesario ocupar equipo de protección como es bata de algodón, goggles y guantes de látex debido a que el residuo es sumamente ácido y una gota de éste al entrar en contacto con la piel produciría una quemadura de primer grado.

El muestreo fue realizado por medio de una pipeta volumétrica de 20mL, una propipeta y se tomó una muestra de 100mL de cada uno de los 4 tanques. La muestra fue colocada en frascos de vidrio limpios y bien etiquetados para saber qué muestra correspondía a cada uno de los tanques.

#### III.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

Para poder plantear un proceso o tratamiento de los residuos, lo primero que se necesita es conocer las características de éste, por lo que se hicieron algunas determinaciones que se consideraron eran las más importantes y que se muestran en la tabla III.1.

Tabla III.1 Algunas características del residuo estudiado

PARÁMETROS	TANQUE			
	1	2	3	4
ESTADO FÍSICO	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
COLOR	Verde	Verde	Verde	Verde
TEMPERATURA (°C)	20	20	20	20
pH(unidades)	<1	<1	<1	<1
CONDUCTIVIDAD (mV)	414,7	420,7	411,4	417,9
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)	395,560	390,520	316,500	392,580
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)	389,040	385,800	310,480	385,300
SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L)	6,520	6,720	6,020	7,280

De los parámetros determinados anteriormente y que se consideraron como los más importantes, cabe destacar los de **Estado físico** y **pH**, que marcan la pauta para empezar a plantear un proceso específico. A continuación se da una explicación de por qué fueron importantes.

#### **Estado físico**

Al tener un residuo en estado líquido en los 4 tanques, los metales (**plata, mercurio y cromo**) debe estabilizarse por formación de precipitados o complejos separables físicamente de la solución acuosa.

#### **pH**

Sabiendo el pH del residuo puede saberse en qué estado de oxidación se encontraban los metales; por ejemplo: el catión  $\text{Cr}^{3+}$  en solución acuosa solo puede existir en un medio ácido, debido a que forma acuo-complejos simples o mixtos con los aniones existentes en la disolución y en un medio básico no podría existir en solución acuosa, debido a que reaccionaría con los iones  $\text{OH}^-$  y formaría un precipitado muy estable como lo es el hidróxido de cromo  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .

### **III.1.3 ANÁLISIS CUALITATIVO**

Mediante este análisis, lo más importante era saber si efectivamente se tenían plata, mercurio y cromo, independientemente de la concentración y del número de oxidación del metal, ya que para saber esto, posteriormente se realizaría un análisis cuantitativo (inciso III.1.4).

Para cada uno de los metales se realizó un análisis cualitativo:

#### **Plata**

Una de las reacciones más específicas para la plata, es la que se lleva a cabo con los cloruros, debido a que forma un precipitado muy estable (Burriel, 1989):



A una muestra de 10ml., proveniente de uno de los tanques, se le agregaron 2ml. de ácido clorhídrico  $\text{HCl}$  2N, obteniéndose inmediatamente un precipitado blanco:



Para comprobar que efectivamente el precipitado obtenido era  $\text{AgCl} \downarrow$  se procedió de la manera siguiente:

Al precipitado obtenido se le separó del residuo líquido por medio de una centrifugación; a este precipitado se le agregan 2mL de hidróxido de amonio  $\text{NH}_4\text{OH}$ , 2N, disolviéndose totalmente el precipitado y obteniéndose una disolución totalmente translúcida, esto es debido a que la plata forma un complejo con el  $\text{NH}_4\text{OH}$  y al formarse el complejo  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  la plata forma una disolución.



Posteriormente para romper este complejo y reprecipitar a la plata como cloruro de plata  $\text{AgCl} \downarrow$ , a la disolución se le agrega 1mL de ácido nítrico concentrado  $\text{HNO}_3$  volviéndose a obtener un precipitado blanco que indica la presencia indiscutible de plata.



### Mercurio

El escaso producto de solubilidad de los cloruros del catión  $\text{Hg}_2^{2+}$ , es una de las reacciones más específicas y se lleva a cabo con ácido clorhídrico diluido  $\text{HCl}$ , debido a que se forma un precipitado blanco denso (calomelanos) (Burriel, 1989):



A una muestra de 10mL proveniente de uno de los tanques se le agrega 2mL de  $\text{HCl}$  2N, obteniéndose un precipitado blanco denso.

**RESIDUO LÍQUIDO (proveniente de la DQO) + HCL -----> precipitado blanco**

Como los cloruros también son reactivos específicos para la plata, se comprobaría la existencia del cloruro mercurioso  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow$  ya que se podría pensar que el precipitado obtenido fuera cloruro de plata  $\text{AgCl} \downarrow$  (ambos precipitados tienen las mismas características). Para comprobar la existencia del  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow$  se procedió de la siguiente manera:

Al precipitado obtenido se le separa por centrifugación y se le agregan 2mL de hidróxido de amonio  $\text{NH}_4\text{OH}$  2N produciéndose una dismutación y apareciendo mercurio metálico y sal amido mercuríca blanca; el color resultante es prácticamente negro (identificación de cloruro mercurioso  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow$ ).



A diferencia del cloruro de plata  $\text{AgCl} \downarrow$  que al agregarle el hidróxido de amonio  $\text{NH}_4\text{OH}$  2N el precipitado se disuelve totalmente y el cloruro mercurioso  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  al agregarle el hidróxido de amonio  $\text{NH}_4\text{OH}$  2N el precipitado se vuelve totalmente negro.

#### **Cromo**

Los iones cromatos  $\text{CrO}_4^{2-}$  precipitan sales coloreadas con muchos cationes; para fines de identificación se utiliza nitrato de plata  $\text{AgNO}_3$  debido a que al reaccionar con los iones cromato produce un precipitado rojo de cromato de plata  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ :



**RESIDUO LÍQUIDO (proveniente de la DQO) +  $\text{AgNO}_3$  -----> precipitado rojo**

Una muestra de 10mL de uno de los tanques se le agrega 2mL de  $\text{AgNO}_3$ , obteniéndose un precipitado rojo, que indica la presencia de cromo.

### **III.1.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO**

#### **III.1.4.1 Determinación de la concentración total para cada metal**

Mediante este análisis y una vez comprobada la existencia de plata, mercurio y cromo (ver inciso III.1.3), el paso siguiente para poder plantear un proceso o sistema de tratamiento para los residuos generados después de realizar la determinación de DQO, era determinar la concentración exacta de cada uno de los metales.

Para realizar esta determinación, fue necesario trabajar en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica el cual se encuentra en el laboratorio del Programa de Ingeniería Química y de Química Ambiental (PIQAYQA) (ver condiciones de operación y trabajo en el Anexo II).

### III.1.4.2. Determinación de la concentración para cada uno de los metales en su respectivo estado de oxidación

Para poder realizar una proceso adecuado para el tratamiento del residuo es necesario saber en qué estado de oxidación se encuentran cada uno de los metales, ya que en base a esto es como reaccionan o precipitan con algún reactivo específico y la concentración de cada uno de ellos también es importante, para saber cuánto es lo que se puede eliminar o separar de cada metal.

Como el equipo de absorción atómica solo indicaba la concentración del metal sin tomar en cuenta el estado de oxidación, se empleó un método indirecto para poder determinar la concentración de cada uno de los metales en su respectivo estado de oxidación. A continuación se describe como se realizó este método.

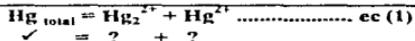
#### Plata

La plata en solución acuosa y en un medio ácido solo puede estar presente como  $Ag^+$ , por lo que para este metal no fue necesario ningún método específico.

#### Mercurio

El mercurio en solución acuosa y un medio ácido puede existir como catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$  (número de oxidación 1<sup>+</sup>) y catión mercuríco  $Hg^{2+}$  (número de oxidación 2<sup>+</sup>). Para poder saber cuál es la concentración en cada uno de los estados de oxidación se hizo lo siguiente:

1.- Se toma una muestra y se lee la concentración total del metal en el equipo de absorción atómica ( $Hg_{total}$ ) y la ecuación 1 representa esta lectura:



2.- Se agrega un agente precipitante para el catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$ , que en este caso fue ácido clorhídrico HCl 2N. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



3.- Por centrifugación o por filtración se separa el precipitado de cloruro mercurioso  $Hg_2Cl_2 \downarrow$ .

4.- Se vuelve a leer la muestra en el equipo de absorción atómica pero sabiendo que ésta ya no tiene al catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$ , debido a que se separó en el paso anterior ( $Hg_2Cl_2 \downarrow$ ) y, por lo tanto, solo se lee el catión mercuríco  $Hg^{2+}$ , ya que éste no precipita con el HCl.

5.- Sabiendo la concentración de  $Hg_{total}$  y de  $Hg^{2+}$ , se despeja  $Hg_2^{2+}$  de la ec (1) y se obtiene la concentración de éste.

$$Hg_2^{2+} = Hg_{total} - Hg^{2+}$$

6.- De esta forma se obtienen las concentraciones para el catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$  y el catión mercuríco  $Hg^{2+}$ .

**Cromo**

El cromo en solución acuosa y en un medio ácido puede existir como  $Cr^{3+}$  y  $Cr^{6+}$ . Para poder saber cuál es la concentración en cada uno de los estados de oxidación se hizo lo siguiente:

1.- Se toma una muestra y se lee la concentración total del metal en el equipo de absorción atómica ( $Cr_{total}$ ) y la ecuación 2 representa esta lectura:

$$Cr_{total} = Cr^{3+} + Cr^{6+} \dots\dots\dots ec (2)$$

2.- Se agrega un agente precipitante para el  $Cr^{3+}$  que es este caso fue hidróxido de sodio NaOH 8N, la reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



3.- Por centrifugación o por filtración se separa el precipitado de hidróxido de cromo  $Cr(OH)_3 \downarrow$

4.- Se vuelve a leer la muestra en el equipo de absorción atómica pero sabiendo que ésta ya no tiene al  $Cr^{3+}$ , debido a que se separó en el paso anterior ( $Cr(OH)_3 \downarrow$ ) y, por lo tanto, solo se lee  $Cr^{6+}$ , ya que éste no precipita con el hidróxido de sodio NaOH.

5.- Sabiendo la concentración para  $Cr_{total}$  y para  $Cr^{6+}$ , se despeja  $Cr^{3+}$  de la ec (2) y se obtiene la concentración de éste.

$$Cr^{3+} = Cr_{total} - Cr^{6+}$$

? = ✓ - ✓

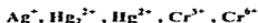
6.- De esta forma es como se obtienen las concentraciones para  $Cr^{3+}$  y  $Cr^{6+}$  en sus respectivos estados de oxidación.

### III.2 PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN DE METALES

Una vez conocidas las características físicas, químicas y la concentración de los metales en su respectivo estado de oxidación, se procede a plantear un proceso para tratar de separar selectivamente o ir eliminando a los metales del residuo. Se busca en la literatura reactivos específicos para cada metal, que tengan la característica de que al reaccionar se formen precipitados poco solubles en agua y que sean relativamente baratos o lo más barato posible.

El proceso consiste en tres etapas, cada una de las cuales tiene reacciones específicas para cada uno de los metales en su respectivo estado de oxidación.

Partiendo del análisis cuantitativo realizado en el inciso III.1.4.2, se tienen los siguientes metales:



1.- Se adiciona ácido clorhídrico  $HCl$ , precipitando el catión  $Ag^+$  como cloruro de plata  $AgCl$  y el catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$  como cloruro mercurioso  $Hg_2Cl_2$ .

2.- Adición de sulfato ferroso amoniacal  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ , para reducir el  $Cr^{6+}$  a  $Cr^{3+}$ .

3.- Adición de hidróxido de sodio  $NaOH$  para precipitar el catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$  como óxido mercurioso  $HgO$  y el catión  $Cr^{3+}$  como hidróxido de cromo  $Cr(OH)_3$ .

En este proceso se emplean las operaciones de precipitación, óxido-reducción, centrifugación y neutralización.

A continuación en la figura III.1 se ejemplifican estas tres etapas.

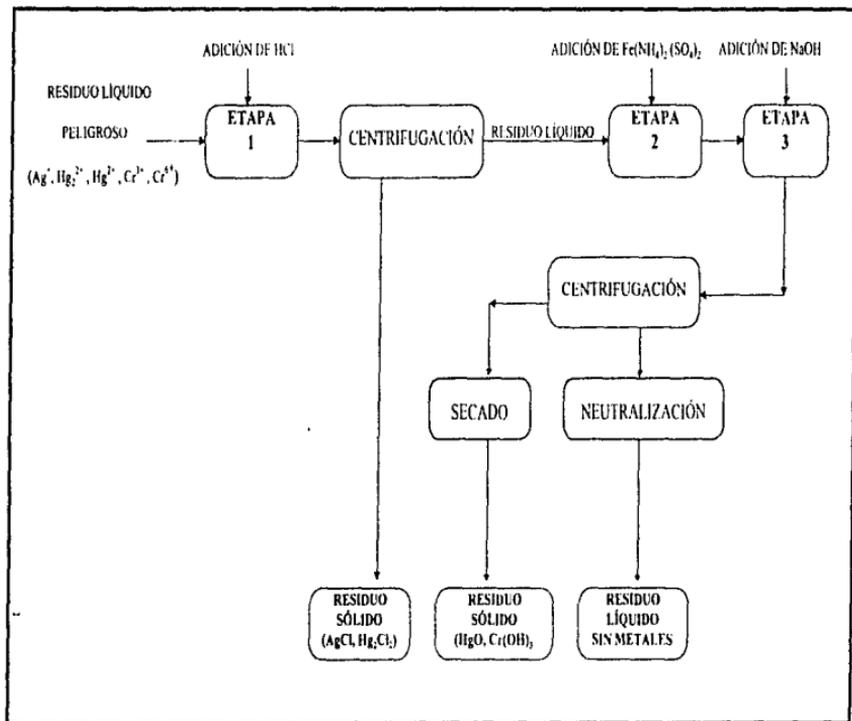


Figura III.1 Diagrama de bloques de los procesos empleados

### **III.2.1 EQUIPO**

Para realizar el proceso físico-químico de eliminación de los metales se utilizaron únicamente los siguientes equipos:

- 1)Potenciómetro marca ORION modelo 720A
- 2)Centrífuga para 6000 RPM: marca HERAEUS

### **III.2.2 MATERIAL**

El material empleado para realizar el proceso físico-químico de eliminación de metales fue el siguiente:

- Agitador de vidrio
- Bata de algodón
- Cubeta de plástico de 10L
- Embudo de plástico
- Espátula
- Guantes de asbesto
- Guantes de látex
- Lentes (goggles)
- Matraz aforado de 100mL
- Matraz aforado de 1L
- Pipeta graduada de 10mL
- Piseta
- Propipeta
- Vaso de precipitado de vidrio de 250mL
- Vaso de precipitado de vidrio de 500mL
- Vaso de precipitado de vidrio de 1L
- Vaso de precipitado de plástico de 4L

### **III.2.3 REACTIVOS**

Los reactivos necesarios para realizar el proceso físico-químico de eliminación fueron los siguientes:

- Ácido clorhídrico 2N
- Ácido sulfúrico concentrado
- Hidróxido de sodio 8N ( grado industrial)
- Sulfato ferroso amoniacal ( grado industrial)

**La preparación de los reactivos se encuentra descrita en el Anexo III.**

### III.2.4 METODOLOGÍA

Actualmente se están tratando 20L de residuo diariamente y la metodología es la que a continuación se presenta.

- 1) Utilizar bata de algodón, guantes de látex y lentes de protección.
- 2) Se toman 4L de residuo de cualquier tanque, por medio de una bomba manual de polietileno, con una extensión de una manguera del mismo material y éste es vertido a una cubeta de polietileno de 10L.
- 3) El paso anterior se realiza 5 veces.
- 4) Agregar 60ml. de ácido clorhídrico HCl 2N ( bajo la campana ) a cada una de las 5 cubetas.
- 5) Agitar durante 1 minuto cada cubeta por medio de un agitador de vidrio ( bajo la campana).
- 6) En este paso se obtiene un residuo líquido y un residuo sólido, por lo que es necesario centrifugar el residuo a 3500 r.p.m., -10°C, durante 5 minutos.
- 7) El residuo líquido se coloca en una cubeta de plástico de 10L.
- 8) El residuo sólido se coloca en un envase de plástico exclusivo para esto.
- 9) Al residuo líquido obtenido en el paso 7 se le agregan 100g de sulfato ferroso amoniacal  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  (FAS) grado industrial a cada cubeta y se agita durante 5 minutos por medio de un agitador de vidrio (bajo la campana).
- 10) Agregar hidróxido de sodio NaOH 8N, hasta un valor de pH= 9.5 (bajo la campana).

Nota 1: Para poder realizar el paso anterior adecuadamente se deben hacer las siguientes actividades:

- A) Agregar a cada cubeta 2L. de **hidróxido de sodio NaOH 8N** lentamente (bajo la campana) debido a que la reacción es muy exotérmica.
- B) Dejar enfriar durante 2 horas aproximadamente en la campana o el tiempo necesario para que alcance una temperatura de 25°C.
- C) Una vez frío se lleva al potenciometro, se mide el pH y se agrega el **hidróxido de sodio NaOH 8N** necesario para llegar al valor de pH=9.5
- D) Si por alguna razón el pH es mayor de 9.5 se debe agregar **ácido sulfúrico concentrado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** hasta obtener el pH deseado.
- E) Durante las adiciones de hidróxido de sodio ó de ácido sulfúrico se debe estar agitando constantemente mediante un agitador de vidrio.

11) Una vez que el residuo tiene el pH deseado, se centrifuga inmediatamente debido a que si se deja por mucho tiempo el **residuo cristaliza**. La centrifugación se lleva a cabo a 3500 r.p.m., -10°C y durante 8 minutos.

12) El residuo líquido es colocado en una cubeta de 10L. y se le agrega **ácido sulfúrico concentrado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** hasta un valor de pH=7 ( Se necesitan aproximadamente 10mL. ).

13) En una charola de metal se pone un plástico grueso a la medida de ésta y se coloca el residuo sólido.

14) En una parrilla de calentamiento a 75°C se coloca la charola con el residuo durante 24 horas para que éste se seque.

15) Una vez seco el residuo es colocado en un recipiente exclusivo para éste.

### III.2.5 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DEL PROCESO

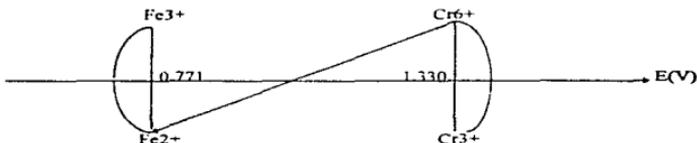
Partiendo del análisis realizado se tiene que se encuentran los siguientes metales en el estado de oxidación siguiente:



1.- Al residuo líquido se le agrega ácido clorhídrico HCl 2N para que precipite  $\text{Ag}^+$  y  $\text{Hg}_2^{2+}$



2.- El paso siguiente sería agregar sulfato ferroso amoniacal  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  debido a que es un agente reductor muy fuerte y, por lo tanto, sirve para reducir el  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$ . Los potenciales de óxido-reducción se ejemplifican en la siguiente figura:



La reacción de óxido-reducción que lo representa es la siguiente:



3.- Una vez que el  $\text{Cr}^{6+}$  es reducido a  $\text{Cr}^{3+}$ , se le agrega hidróxido de sodio NaOH 8N para que precipite como hidróxido de cromo  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , y además también precipite el catión mercurio  $\text{Hg}^{2+}$  como óxido mercurio  $\text{HgO}$ . La reacción que representa este paso es la siguiente:



La figura III.2 ejemplifica este proceso.



## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en este trabajo:

### IV.1 RESULTADOS CUALITATIVOS

Los resultados del análisis cualitativo se presentan en la tabla IV.1. En esta tabla se puede observar que en los cuatro tanques existía plata, mercurio y cromo.

Tabla IV.1 Muestra el resultado obtenido del análisis cualitativo para cada uno de los tanques

TANQUE	PLATA	MERCURIO	CROMO
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓

✓ = Significa que metal se encuentra presente en cada tanque

### IV.2 ANÁLISIS DEL RESIDUO ANTES Y DESPUÉS DE APLICAR EL PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN

Este análisis se realizó para saber las concentración promedio de metales antes y después del proceso de eliminación propuesto.

#### IV.2.1 CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL DE LOS CONTAMINANTES (RESULTADOS CUANTITATIVOS)

En las tablas IV.2 a la IV.5 se puede observar que la concentración inicial de cada metal variaba en cada uno de los tanques; sin embargo, después de aplicar el proceso de eliminación de metales en los cuatro tanques los resultados de la concentración final para cada metal fueron todos muy semejantes; es decir, no se presentó una diferencia significativa en el contenido de metales del residuo tratado de cada tanque. Esto significa que el proceso físico-químico de eliminación de metales propuesto puede ser usado para cualquier tipo de residuo que contenga estos metales, sin importar la concentración inicial de éstos.

Tabla IV.2 Concentraciones inicial y final para el tanque 1

CONCENTRACIÓN	Ag <sup>+</sup>	Hg <sub>a</sub> <sup>2+</sup>	Hg <sub>s</sub> <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>
INICIAL(ppm)	1000	515	53	259	0.71
FINAL(ppm)	0.9	0.1	16.2	0.01	0.03

Tabla IV.3 Concentraciones inicial y final para el tanque 2

CONCENTRACIÓN	Ag <sup>+</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>
INICIAL(ppm)	2	174	173	352	416
FINAL(ppm)	0.9	0.1	28.2	0.01	0.05

Tabla IV.4 Concentraciones inicial y final para el tanque 3

CONCENTRACIÓN	Ag <sup>+</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>
INICIAL(ppm)	600	256	228.9	453	39
FINAL(ppm)	1.5	0.1	27.1	0.01	0.07

Tabla IV.5 Concentraciones inicial y final para el tanque 4

CONCENTRACIÓN	Ag <sup>+</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>
INICIAL(ppm)	2	171	479	575	1
FINAL(ppm)	0.7	0.1	29.2	0.01	0.05

#### IV.2.2 PORCIENTO DE ELIMINACIÓN DE METALES

Con base en los resultados obtenidos en las tablas anteriores de concentraciones inicial y final se puede calcular el porcentaje de eliminación de los metales mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ DE ELIMINACIÓN} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \cdot 100$$

Las tablas IV.6 a la IV.9 muestran el % de eliminación de los metales para cada uno de los tanques. En estas tablas se puede observar que se tienen porcentajes de eliminación por arriba del 90% para casi todos los metales, por lo que el proceso de eliminación puede ser considerado como adecuado.

Los valores de eliminación más bajos que se tienen son para la plata, Ag<sup>+</sup> en el tanque 2 y en el tanque 4. Sin embargo, esto no indica que el proceso no sea el adecuado, ya que en todos los casos la concentración final es menor que la exigida por la norma correspondiente.

Tabla IV.6 Porcentaje de eliminación para el tanque 1

METAL	% DE ELIMINACION
Ag	99.91
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	99.98
Hg <sup>+</sup>	69.43
Cr <sup>+</sup>	99.60
Cr <sup>++</sup>	95.77

Tabla IV.7 Porcentaje de eliminación para el tanque 2

METAL	% DE ELIMINACION
Ag	55
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	99.94
Hg <sup>+</sup>	83.69
Cr <sup>+</sup>	99.99
Cr <sup>++</sup>	99.98

Tabla IV.8 Porcentaje de eliminación para el tanque 3

METAL	% DE ELIMINACION
Ag	99.72
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	99.96
Hg <sup>+</sup>	88.16
Cr <sup>+</sup>	99.99
Cr <sup>++</sup>	99.82

Tabla IV.9 Porcentaje de eliminación para el tanque 4

METAL	% DE ELIMINACION
Ag	65
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	99.94
Hg <sup>+</sup>	95.90
Cr <sup>+</sup>	99.99
Cr <sup>++</sup>	95

### IV.2.3 COMPARACIÓN CON LA NORMATIVIDAD MEXICANA PARA RESIDUOS PELIGROSOS

En la tablas IV.10 a la IV.13 se compara el resultado de concentración final en el residuo vs. los valores que la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993 establece como límites máximos permisibles para plata, mercurio y cromo.

Tabla IV.10 Concentración final del líquido residual contenido en el tanque 1 y su comparación con lo indicado en la NOM-052-ECOL-1993

METALES	CONCENTRACIÓN FINAL DEL RESIDUO (ppm)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ppm) NOM-052-ECOL-1993	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL VS. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NOM-052-ECOL-1993
Ag	0.9	5	✓
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.1	0.2	✓
Hg <sup>0</sup>	16.2	0.2	X
Cr	0.01	5	✓
Cr <sup>+</sup>	0.03	5	✓

✓ = Significa que cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

X = Significa que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

Tabla IV.11 Concentración final del líquido residual contenido en el tanque 2 y su comparación con lo indicado en la NOM-052-ECOL-1993

METALES	CONCENTRACIÓN FINAL DEL RESIDUO (ppm)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ppm) NOM-052-ECOL-1993	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL VS. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NOM-052-ECOL-1993
Ag	0.9	5	✓
Hg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.1	0.2	✓
Hg <sup>0</sup>	28.2	0.2	X
Cr <sup>+</sup>	0.01	5	✓
Cr <sup>+</sup>	0.05	5	✓

✓ = Significa que cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

X = Significa que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

Tabla IV.12 Concentración final del líquido residual contenido en el tanque 3 y su comparación con lo indicado en la NOM-052-ECOL-1993

METALES	CONCENTRACIÓN FINAL DEL RESIDUO (ppm)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ppm) NOM-052-ECOL-1993	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL VS. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NOM-052-ECOL-1993
Ag	1.5	5	✓
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	0.1	0.2	✓
Hg <sup>+</sup>	27.1	0.2	X
Cr <sup>+</sup>	0.01	5	✓
Cr <sup>+</sup>	0.07	5	✓

✓ = Significa que cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

X = Significa que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

Tabla IV.13 Concentración final del líquido residual contenido en el tanque 4 y su comparación con lo indicado en la NOM-052-ECOL-1993

METALES	CONCENTRACIÓN FINAL DEL RESIDUO (ppm)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ppm) NOM-052-ECOL-1993	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL VS. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NOM-052-ECOL-1993
Ag	0.7	5	✓
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	0.1	0.2	✓
Hg <sup>+</sup>	29.2	0.2	X
Cr <sup>+</sup>	0.01	5	✓
Cr <sup>+</sup>	0.05	5	✓

✓ = Significa que cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

X = Significa que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993

En las tablas anteriores se puede observar que en los cuatro tanques, los metales Ag<sup>+</sup>, Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup> y Cr<sup>6+</sup> se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, por lo que el proceso físico-químico de eliminación de los metales puede ser considerado como adecuado.

El catión mercurio Hg<sup>2+</sup> es el único de los metales que no cumple con la norma NOM-052-ECOL-1993, debido a que en los cuatro tanques su valor al final sobrepasa los límites establecidos por ésta.

Esto significa que debe buscarse otro método complementario que reduzca su concentración a 0.2 ppm que es el límite máximo permisible. Esta nueva separación se haría a partir del último residuo líquido, F (Figura III.2).

### IV.3 DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE ELIMINACIÓN DE METALES

En el diagrama III.2 se puede observar que en el proceso físico-químico de eliminación de metales al final se obtienen tres residuos, uno líquido, F y dos sólidos, B y E. El residuo líquido F que contiene aún al  $Hg^{2+}$  (16.2 a 29.2 ppm) está siendo almacenado para seguir investigando una metodología de separación que permita reducir su concentración final hasta 0.2 ppm, que es el límite permitido por la normatividad mexicana. El residuo sólido que contiene  $AgCl$  y  $Hg_2Cl_2$ , B, es colocado en un recipiente de polietileno, para continuar con estudios de separación del  $AgCl$  y del  $Hg_2Cl_2$ , ya que estos productos por separado tienen un valor comercial como reactivos grado industrial, dependiendo de la pureza con la que se logren separar y recuperar. La cantidad total de  $AgCl$  y  $Hg_2Cl_2$  que se obtiene por tanque de 200L se muestra en la tabla IV.14.

Tabla IV.14 Cantidad de  $AgCl$  y  $Hg_2Cl_2$ .

TANQUE	1	2	3	4
$AgCl$ y $Hg_2Cl_2$ (g)	386.22	41.49	219.42	40.78

El segundo residuo sólido obtenido E que contiene  $Cr(OH)_3$  y  $HgO$ , es colocado en tanques de 200L y también es almacenado para continuar con el estudio de la separación del  $Cr(OH)_3$  y del  $HgO$  para su uso en el laboratorio como reactivos grado industrial. La tabla IV.15 muestra la cantidad de  $Cr(OH)_3$  y  $HgO$  obtenidos:

Tabla IV.15 Cantidad de  $Cr(OH)_3$  y  $HgO$

TANQUE	1	2	3	4
$Cr(OH)_3$ y $HgO$ (g)	114.32	341.59	239.6	331.88

En este punto es importante mencionar que los residuos sólidos obtenidos contienen a los metales que se querían separar selectivamente, además de que al encontrarse en estado sólido los metales están estabilizados y se les puede recuperar, separar o almacenar de una manera ambientalmente adecuada, por lo que el proceso físico-químico de eliminación en este punto también puede considerarse como satisfactorio.

#### IV.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

El proceso físico-químico propuesto, se llevó a cabo a nivel de laboratorio y se tenían disponible infraestructura, reactivos, material y equipo, por lo que el aspecto técnico no fue un problema. La viabilidad económica como tal no es posible obtenerla, debido a que para saber si un proceso es económicamente viable, es necesario calcular una TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) que se obtiene de la siguiente forma:

$$TIR = \frac{\text{Ventas anuales brutas}}{\text{Inversión fija de capital}}$$

Para este proceso es posible calcular la **Inversión fija de capital**, pero no es posible calcular las **Ventas anuales brutas**, debido a que se tendría que tener un ingreso por concepto de comercialización o que se utilizaran los residuos sólidos obtenidos. Sin embargo, para tener una idea del costo de tratamiento del residuo, por medio de este proceso, se realizó una evaluación preliminar.

Para obtener los costos del proceso se tomaron en cuenta únicamente los costos de material y reactivos (estos datos fueron obtenidos por una cotización realizada en febrero de 1997). No se consideró la adquisición de equipos, la mano de obra, los servicios, la construcción de un local, etc., ya que éste es un primer acercamiento al problema.

El costo de reactivos y materiales para tratar cuatro tanques de 200l, se encuentra desglosado en las tablas IV.16 y IV.17 (cotización realizada por El CRISOI S.A DE C.V. para materiales y por DROGUERÍA COSMOPOLITA S.A. DE C.V. para reactivos).

Tabla IV.16 Costo de material

MATERIAL	ESPECIFICACIONES	COSTO \$ (POR UNIDAD)
Agitador	Vidrio, altura:30cm, Diámetro:0.5mm	20.00
Bata	Algodón 100%	80.00
Cubeta	Plástico, volumen:10L	15.00
Embudo	Plástico, Diámetro:20cm	26.00
Espátula	Mango de madera, Hoja:20cm	46.00
Guantes	Asbesto	30.00
Guantes	Latex	5.00
Lentes (goggles)	Plástico	47.00
Matraz aforado	100ml.	122.30
Matraz aforado	1L	192.50
Pipeta graduada	10ml.	27.60
Piseta	1L	17.60
Propipeta	Ninguna	76.00
Vaso de precipitado	Vidrio, 250ml.	23.20
Vaso de precipitado	Vidrio, 500ml.	55.40
Vaso de precipitado	Vidrio, 1L	59.90
Vaso de precipitado	Polipropileno, 4L	286.00
		<b>Total = \$ 1087.5</b>

**Tabla IV.17 Costo de reactivos**

REACTIVO	CANTIDAD	COSTO \$
Acido clorhidrico HCl (concentrado)	2.5L	147.34
Acido sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (concentrado)	1L	80.00
Hidróxido de sodio NaOH (lenteja, grado industrial)	150kg	2800.00
Sulfato ferroso amoniacal Fe(NH <sub>4</sub> )(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (grado industrial)	20kg	100.00
		<b>Total = \$ 3127.34</b>

**Costo total = Costo de reactivos + Costo de material**

$$\text{Costo total} = 3127.34 + 1087.5$$

$$\text{Costo total} = \$ 4214.84 \text{ M.N.}$$

Para tratar 800L de residuo se tiene que hacer una inversion en reactivos y material de \$ 4214.84

Si el costo total se divide entre el volumen de residuo a tratar, se obtiene el costo de materiales por litro de residuo a tratar:

$$\text{Costo por litro de residuo} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Volumen total de residuo}}$$

$$\text{Costo por litro de residuo} = \frac{\$ 4284.84}{800L}$$

**Por cada litro de residuo a tratarse se tendria un costo de \$ 5.35 M.N., solamente por materiales y reactivos.**

**NOTA:** Podrian hacerse varias suposiciones para calcular una **tasa interna de retorno**, como las de considerar el costo de su disposición controlada en Mina, Nuevo León (Bazúa-Durán, 1994). Sin embargo, se considero que para el proposito de este trabajo no se justifica, ya que el beneficio de realizarlo no está sustentado en datos específicos.

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### V.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron después de haber realizado este trabajo son las siguientes:

I. El residuo generado después de realizar la prueba de DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) contiene los siguientes metales:  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ . La concentración de estos metales sobrepasa los límites máximos permisibles, establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, por lo que se considera como un residuo líquido peligroso.

II. Aunque en la actualidad existen diferentes tratamientos, procesos o métodos para tratar un residuo peligroso, el proceso físico-químico planteado es una alternativa viable de solución para tratar los residuos generados en la prueba analítica de la DQO.

III. En el proceso físico-químico de eliminación de metales, se obtuvieron eficiencias de eliminación adecuadas para  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$ , cumpliendo con la normatividad vigente.

IV. El catión  $\text{Hg}^{2+}$  fue el único que no alcanzó la concentración establecida por la normatividad mexicana. Sin embargo, los porcentos de eliminación para este metal fueron, en promedio, del 85% (con concentraciones iniciales entre 53 y 479 ppm que se redujeron a 16.2-29.2 ppm).

V. El proceso físico-químico de eliminación tiene la ventaja de que maneja conceptos sencillos, por lo que hace que este proceso sea relativamente fácil de entender y aplicar, pudiéndose usar en algún otro laboratorio que genere un residuo igual o similar.

VI. El proceso físico-químico de eliminación de metales en solución propuesto puede ser usado en cualquier residuo que contenga  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ .

VII. Mediante el proceso físico-químico de eliminación de metales en solución se obtuvieron dos residuos sólidos, el primero que contenía  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$  y el segundo con  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$ . Los residuos sólidos obtenidos son **residuos estabilizados** que están siendo almacenados, para estudiar la recuperación de los metales y una vez separados puedan ser empleados como reactivos grado industrial en algún otro laboratorio.

VIII. El costo de reactivos y material es de \$ 5.35/L. de residuo tratado. Deberá considerarse este costo en el costo intrínseco del análisis sumándole mano de obra, servicios, etc.

IX. El proceso físico-químico de eliminación de metales propuesto en este trabajo de tesis, es una muestra de la **importancia de la Química para plantear posibles soluciones problemas ambientales específicos.**

## V.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para continuar este trabajo son:

I. Que la gente que realiza la prueba analítica de DQO, sea capacitada para aplicar el proceso de eliminación de metales a los residuos líquidos que genere y de esta manera tener un sistema amigable con el ambiente e integrado.

II. Seguir investigando para que a partir de los residuos sólidos que se obtienen del proceso de eliminación de metales, se logren separar y posteriormente recuperar los metales que contienen estos residuos sólidos y se puedan volver a utilizar, ya sea en el propio laboratorio o en otros complementarios.

III. Tratar de mejorar el proceso de eliminación del catión mercuríco  $\text{Hg}_2^{2+}$ , para disminuir su concentración haciendo una reducción de  $\text{Hg}_2^{2+}$  a  $\text{Hg}_2^{2+}$ , precipitándolo posteriormente con HCl.

IV. Buscar alternativas menos contaminantes para determinar la cantidad de materia disuelta y coloidal en aguas residuales y, de esta forma, disminuir el uso de la prueba de DQO.

## BIBLIOGRAFÍA

1. APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. AWWA APHA. WPCF, 16ava. Ed. Washington, D.C. EEUUA.
2. Batstone, R. 1989. The safe disposal of hazardous waste. A World Bank technical paper Vol. II. Pp. 551-570. Washington, D.C., EEUUA.
3. Bazúa-Durán, C. 1994. Reutilización de residuos ácidos de cromo: una tecnología limpia. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 18,19, México, D.F., México.
4. Benítez-Sánchez, M. 1989. Estudio monográfico de dos sectores industriales que contribuyen a la contaminación del agua con Cr y V. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 28-30, México, D.F., México.
5. Brunner, C. R. 1991. Handbook of incineration systems. Mc-Graw Hill. Pp. 9.4, 10.6, 12.8. New York, EEUUA.
6. Bueli, J. L. 1989. Standard handbook of hazardous waste treatment. Mc-Graw Hill. Pp. 8.121. New York, EEUUA.
7. Buriel, M. F. 1989. Química analítica cualitativa. Paraninfo. Pp. 418-751. Madrid, España.
8. Cortinas de Nava, C. y Gleason, S. 1993. Residuos peligrosos en el mundo y en México. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología. Pp. 20-86 México, D.F., México.
9. Cullinane, M. J. 1986. Handbook for stabilization, solidification of hazardous waste. USEPA, Hazardous waste engineering research laboratory, Pp. 56. Cincinnati Ohio, EEUUA.
10. Chung, N. K. 1989. Standard handbook of hazardous wastes. Mc-Graw Hill. Pp. 7.21-7.29. New York, EEUUA.
11. Diario Oficial de la Federación. 13 de Diciembre de 1996. Primera sección. Organismo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Sedesol. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente. Pp. 84-120. México, D.F., México.

12. Durán de Bazúa, C. 1994. Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso. Pub. Fac. de Química, UNAM. Pp. 46, 47, 52, 69, 74, 78, 79, 82, 83, 87, 88, 92. México, D.F., México.
13. Espindola-Zepeda, M. 1992. Evaluación de tecnologías que emplean procesos fisicoquímicos para el tratamiento de residuos peligrosos. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 59-120, México, D.F., México.
14. Fishman, M.J. 1970. Determination of mercury in water. Journal Anal. Chem. 93:(11) Pp. 50-60
15. Fochtman, E. G. 1989. Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal. Mc-Graw Hill. Pp. 7.41-7.49. New York, EEUUA.
16. González, H. 1978. Recuperación de plata a partir de jalisco. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 32-40 México, D.F., México.
17. Hans, S. 1988. Handbook on toxicity of inorganic compounds. Mc-Graw Hill. Pp. 239-251, 419-437, 619-625. New York, EEUUA.
18. Kiang, Y. H. 1982. Hazardous waste processing technology. Ann Arbor Science. Pp. 486, 487, 499-501. Washington, D.C., EEUUA.
19. Manahan, S. E. 1990. Hazardous waste chemistry: Toxicology & Treatment. Lewis Publisher. Pp. 351-353. Michigan, EEUUA
20. O'Brien, L. 1989. Hazardous waste site remediation. Van Nostrand Reinhold. Pp. 128-135. St. Louis, EEUUA.
21. Phifer, R. W. 1988. Handbook of hazardous waste management for small quantity generators. Lewis Publishers. Pp. 134, 135. Michigan, EEUUA.
22. SEDESOL. Secretaría de Desarrollo social, Normas Oficiales Mexicanas en materia de protección ambiental. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre. México, D.F., México.
23. Tchobanoglous, G. 1993. Integrated solid waste management. Mc-Graw Hill. Pp. 460-464. New York, EEUUA.
24. Wentz, C. A. 1989. Hazardous waste management. Mc-Graw Hill Pp. 156-160, 195-197. New York, EEUUA.
25. Willard, H. 1974. Métodos instrumentales de análisis. Ed. CECSA. Pp. 65, 103, 132, 423. México, D.F., México.

26. World Bank. 1989. The safe disposal of hazardous wastes. Editado por Balstone, J. y Wilson, D. Estudio conjunto del Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Technical Paper No. 93 Vol. 1. Pp. 19-32.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

(SIN CITAS EN EL TEXTO)

1. Allen, E.H. 1975. Chemical oxygen demand: Analysis of organic water in natural and wastewaters. Washington, D.C. EEUUA.
2. Ayres, G. 1970. Análisis químico cuantitativo. Harla, México, D.F., México.
3. Brumblay, R.U. 1969. Análisis cualitativo. Ceesa, México, D.F., México.
4. Camacho-Frias, E. 1991. Separación de metales pesados por cromatografía de líquidos de alta resolución. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., México.
5. Curtman, L.S. 1959. Análisis químico cualitativo. Manuel Marín y Cia., editores. Barcelona, España.
6. Danbrine, E. 1993. Hazardous waste confirmed as safe kiln fuel. Rock Products St. Louis, EEUUA.
7. Encyclopedia of Chemical Technology. 1979. Kirk-Othmer, Eds. John Wiley & Sons Vol. 6, Nueva York, EEUUA.
8. Encyclopedia of Physical Science and Technology. 1987. Meyers R. Academic Press Inc. Vol.14, Orlando, Florida EEUUA.
9. Freeman, H. M. 1990. Hazardous waste minimization. Mc Graw Hill. New York, EEUUA.
10. Garza-Vera, E. 1976. Determinación comparativa por fluorimetría, colorimetría y gravimetría de níquel, plata, aluminio, zinc, y cobre por formación de quelatos. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., México.
11. Griffin, R. D. 1990. Principles of hazardous material management. Lewis Publisher. Michigan, EEUUA.
12. Huesca-Barnette, C. 1995. El reuso de residuos peligrosos líquidos como combustible alternativo en hornos para la fabricación del cemento. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., México.

13. Jackman A.P. 1991. Hazardous waste treatment technologies. Noyes Publications. New Jersey, EEUUA.
14. López, R. 1989. Introducción a los residuos industriales y su disposición final. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México. D.F., México.
15. Márquez-Vargas, M. 1987. Recuperación de plata para la obtención de nitrato de plata a partir de residuos de laboratorio. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México. D.F., México.
16. Nieves-Acosta, J.F. 1978. Los metales pesados en el mejoramiento de los terrenos. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México. D.F., México.
17. Pecsok, R.L. y Shields, L.D. 1973. Métodos modernos de análisis químicos. Limusa. México. D.F., México.
18. Pino, F. 1979. Técnicas experimentales de análisis cualitativo. Urmo. México, D.F., México.
19. Rinsbom, A. 1979. Formación de complejos en química analítica. Alhambra. Madrid, España.
20. Rojas-Santamaría, A.L. 1977. Caracterización de las aguas residuales del corredor industrial Toluca-Lerma. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México.
21. Santos-Romo, I. 1975. Análisis de mercurio metálico. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México. D.F., México.
22. Villalobos-Peñalosa, M. 1987. Método para análisis de cromo y su aplicación en la caracterización de residuos sólidos industriales. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México.
23. Varian. 1989. Analytical methods flame atomic absorption spectrometry. Mulgrave Victoria, Australia.
24. Vogel, A. 1974. Química analítica cualitativa. Kapelusz. Buenos Aires, Argentina.

## ANEXO I

### ANÁLISIS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

#### Método volumétrico de oxígeno con dicromato de potasio (APHA, 1985)

Conocida como DQO o COD (por sus siglas en inglés).

Representa una medida de toda la materia presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada en un medio ácido por un oxidante fuerte. Se mide como mg de oxígeno equivalente a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual).

Para las muestras de una fuente específica la demanda química de oxígeno puede relacionarse empíricamente con la demanda bioquímica de oxígeno y el carbón orgánico total. La prueba resulta bastante útil para "monitorear" y controlar descargas de aguas residuales, una vez establecida la correlación.

Las pruebas de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub> y DBO<sub>t</sub>) tradicionalmente han sido utilizadas para el diseño de plantas de tratamiento para aguas residuales y el uso de la prueba de la DQO ha sido criticado debido a que es una prueba química y, por lo tanto, no mide la remoción de materia orgánica efectuada por los microorganismos.

Esta crítica puede ser válida si solo se considera la DQO del agua cruda; pero el cambio de DQO soluble en una planta piloto indica exactamente qué porción de materia orgánica del desecho industrial es removida y este cambio es debido a la acción biológica, principalmente.

#### FUNDAMENTO

El método se basa en una oxidación energética de la materia orgánica e inorgánica oxidable, que se encuentra en el agua en un medio ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso de agente oxidante después de un periodo de reflujo a 150°C, durante dos horas, se determina con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal, en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina (indicador ferroin) como indicador externo. El valor obtenido se introduce a una ecuación cuyo desarrollo da como resultado la concentración en miligramos por litro, de materia químicamente oxidable.

#### Interferencias

Las sustancias inorgánicas como los iones ferroso, sulfato, sulfitos y tiosulfatos se oxidan bajo ciertas condiciones y crean una DQO inorgánica, la cual interfiere cuando se estima el contenido de material orgánica del agua residual.

El ion cloruro también interfiere, pero es posible eliminarlo al agregar sulfato mercurico.

**Nota:** Mediante esta prueba no es posible conocer el tipo de compuestos orgánicos presentes, ni diferenciar entre material biodegradable y sustancias tóxicas por lo cual solo constituye un análisis aproximado para la determinación de compuestos orgánicos totales.

#### **Reactivos**

- Solución acuosa de dicromato de potasio 0.25N
- Sulfato de plata (cristales)
- Solución de plata en ácido sulfúrico. Esta se prepara disolviendo 22g de sulfato de plata en 4 kg de ácido sulfúrico. La solución debe protegerse de la luz
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución indicadora de ferroina
- Solución de sulfato ferroso amoniacal para realizar la valoración en una concentración aproximada de 0.05N
- Sulfato mercurico

#### **Equipo utilizado**

El equipo empleado es un Behr, RFA, el cual consta de una parrilla, con control de temperatura y tiempo, de capacidad para calentamiento de 24 muestras. 2 canastillas metálicas con 24 vasos de reacción de 200 mL de capacidad cada uno de ellos con tubo refrigerante, que permite la condensación, mediante enfriamiento por aire, de los vapores generados durante el período de reflujo.

De manera complementaria se tiene un recipiente de PVC, que contiene agua para el enfriamiento de los vasos de reacción, después de haberlos ya puesto a reflujo con las muestras.

#### **Procedimiento**

Tratamiento de la muestra:

- Centrifugar las muestras por analizar a 3600 R.P.M. a una temperatura de 4°C durante 15 minutos.

Poner en el recipiente de reflujo:

- 10 mL de muestra con agua destilada, en proporciones 1:50 para muestras concentradas y 5:50 para aquellas provenientes del sistema de tratamiento. En la preparación del blanco (testigo) se utilizarán 10 mL de agua destilada como muestra.

- 0.2 g de sulfato mercúrico
- 5 mL de dicromato de potasio 0.25 N
- Colocar el refrigerante y añadir lentamente 15 mL de solución de plata en ácido sulfúrico concentrado.

#### Reflujo

- Colocar los matraces de reacción en la parrilla eléctrica, manteniendo en reflujo, a 150°C, durante 2 horas.

#### Valoración de la muestra

Al terminarse el reflujo, una parte del dicromato ya ha reaccionado con la materia orgánica. El dicromato remanente puede ser valorado de la manera siguiente:

- Agregar al recipiente de reflujo 40 mL de agua destilada y dos gotas de indicador de ferroína y homogeneizar.
- Titular con sulfato ferroso amoniacal 0.05N. El punto final de la valoración es el cambio de coloración de azul verdoso a pardo rojizo.

#### Obtención de resultados

La fórmula empleada es la siguiente:

$$\text{mg DQO/L} = (a-b) \cdot N \cdot 8000 / \text{mL de la muestra (f)}$$

#### Donde:

- a: Volumen de sulfato ferroso amoniacal gastado para valorar el blanco testigo
- b: Volumen de sulfato ferroso amoniacal
- N: Normalidad del sulfato ferroso amoniacal
- f: Fracción volumétrica decimal de la muestra inicial en la solución de la cual se tomó la alícuota de 10 mL para la determinación

#### Normalidad del sulfato ferroso amoniacal (SFA)

En un matraz se colocan:

- 10 mL de dicromato de potasio 0.05N
- 40 mL de agua destilada
- 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (enfriando constantemente)

Después de enfriar se le agregan dos gotas de indicador de ferroína y se agita.

**Valoración**

La solución anterior se titula con SFA 0.05 N

Se anota el volumen utilizado para lograr un cambio de color café a café rojizo

$$\text{Normalidad SFA} = \frac{(\text{mL de dicromato de potasio}) * (\text{su normalidad})}{\text{mL de SFA empleados}}$$

$$\text{Normalidad SFA} = \frac{10 * 0.05}{\text{mL SFA empleados}} = \frac{0.5}{\text{mL SFA empleados}}$$

**SFA:** Sulfato ferroso amoniacal

## ANEXO II

### DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLATA, MERCURIO Y CROMO

La determinación de los cationes Ag, Hg y Cr, se realiza por ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, método que se ha venido utilizando oficialmente para la determinación de estos tres metales.

#### FUNDAMENTO

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica que se basa en el estudio de la energía radiante, que es emitida por los átomos. Cuando se aplica una cantidad de energía de una intensidad apropiada a un átomo, éste la absorbe y dentro de su configuración electrónica (entendiéndose configuración electrónica como el acomodo de los electrones ordenadamente en cada uno de los orbitales del elemento), un electrón de su capa u orbital es promovido a una configuración menos estable conocida como estado excitado.

Debido a que este estado es inestable, el elemento tiende a regresar a su estado basal y durante este proceso emite energía radiante equivalente a la energía que absorbió para llegar a dicho estado de excitación. La longitud de onda de la energía emitida está relacionada directamente con la transición electrónica ocurrida y es propia de cada elemento.

La fuente de energía es una flama. El proceso de absorción atómica consiste en que si la luz de la longitud de onda precisa incide en un átomo libre, en estado base, el átomo puede absorber la luz a medida que entra en estado excitado.

Las determinaciones de la concentración de un elemento en una muestra por absorción atómica, es la cantidad de la luz absorbida por los átomos en estudio.

#### ANÁLISIS CUANTITATIVO

Sobre la flama o celda de flama que posee átomos en estado fundamental o basal, se enfoca la luz a la longitud de onda de resonancia, con una intensidad inicial denominada como  $I_0$ . Debido a la concentración de átomos en la flama se provoca una disminución en la intensidad inicial de la luz, denominada como  $I$ , dependiendo de la concentración. El detector mide la intensidad disminuida ( $I$ ) porque es ahí donde se dirige la luz.

Para determinar la cantidad de luz absorbida se comparan  $I$  e  $I_0$ . La transmitancia ( $T$ ), es uno de los términos que se utilizan para determinar la cantidad de luz absorbida y se define como la razón de la intensidad disminuida y la intensidad inicial; es una indicación de la fracción de luz inicial que pasa a través de la flama para incidir en el detector.

$$T = I/I_0$$

El término más utilizado para definir la absorción de la luz en la espectrofotometría de absorción atómica es "la absorbancia". Esta intensidad presenta una relación lineal o proporcional a la concentración del elemento a determinar en alguna muestra.

$$A = \log I_0/I$$

La ley que define esta relación es la de Lambert y Beer

$$A = abc$$

Donde:

**A:** Absorbancia

**a:** Coeficiente de absorción, constante características de las especies absorbentes

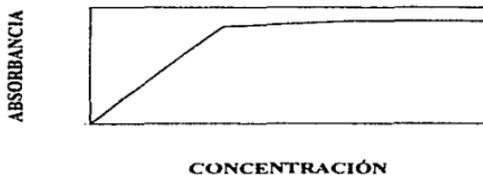
**b:** Longitud de la trayectoria de la luz interceptada por la celda de absorción

**c:** Concentración de la especies absorbentes en la misma celda

La ecuación establece que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes según las condiciones instrumentales. En la espectrofotometría de absorción atómica se observa el comportamiento entre la absorbancia y la concentración de algunos elementos en una solución.

Con esta relación, se pueden preparar curvas de calibración con soluciones de concentración conocida obteniendo una curva similar a la ilustrada en la gráfica II.1.

## CURVA DE CALIBRACIÓN



Gráfica II.1 Curva de calibración

Esta curva de calibración sirve para poder calcular la concentración de elementos en soluciones, con base en la absorbancia que presenten.

## **INSTRUMENTACIÓN**

El espectrofotómetro de absorción atómica está formado por:

- Una fuente luminosa.
- Una celda para contener la muestra.
- Un medio para la medición de la luz específica.

La lámpara de cátodo hueco es una de las fuentes luminosas más utilizadas. El diseño de éstas, está adecuado para emitir el espectro atómico de un elemento y son independientes para cada uno.

El cátodo de la lámpara es un cilindro hueco del elemento que se va a determinar (el ánodo y es cátodo se encuentran en un cilindro de vidrio, sellado y lleno de un gas inerte).

Los componentes que se utilizan para medir la luz específica son:

Un monocromador que dispersa las distintas longitudes de onda de la luz que es emitida por la fuente y separa la línea del elemento en cuestión. Esta longitud de onda aislada por el monocromador incide sobre el fotomultiplicador directamente. Este tubo produce una corriente eléctrica que depende de la intensidad de la luz incidente, ésta es amplificada y procesada, produciendo una señal que se mide con el atenuador. La señal se procesa para obtenerse en unidades de concentración.

## **SENSIBILIDAD Y LÍMITES DE DETECCIÓN**

Estos términos describen las dos características instrumentales de la calidad del equipo. La sensibilidad (concentración característica), se define como la pendiente que se obtiene en la calibración de absorbancia contra concentración para cada elemento. Está expresada en microgramos por mililitro, necesaria para producir una absorción de 1% y cuyo valor es 0.0044. La sensibilidad se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{sensibilidad} = (\text{concentración del estándar} * 0.0044) / \text{absorbancia media}$$

La sensibilidad del aparato sirve para saber si todas las condiciones del equipo son las óptimas y si está cumpliendo las especificaciones establecidas.

El concepto de límite de detección involucra consideraciones de dimensión de señal, como de ruido en la línea base para dar una indicación de la mínima concentración del elemento que se puede determinar. El límite de detección describe la capacidad del instrumento.

## **CONDICIONES DEL EQUIPO**

Para efectuar el análisis de los metales: plata, cromo, mercurio, mediante espectrofotometría de absorción atómica es necesario primero encender el equipo (Espectrofotómetro de absorción atómica Marca: VARIAN, Modelo: SPECTRAA400); después, colocar las lámparas de cátodo hueco (de los metales antes mencionados) enfocándolas sobre la celda de muestreo. Una vez realizado esto, se establecen las condiciones de operación del equipo indicadas en la tabla II.1

**TABLA II.1**

**CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL ANÁLISIS DE PLATA, MERCURIO Y CROMO MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

<b>CONDICIONES</b>	<b>PLATA</b>	<b>MERCURIO</b>	<b>CROMO</b>
<b>LONGITUD DE ONDA (nanómetros)</b>	328.1	253.7	357.9
<b>FLAMA</b>	aire/ acetileno	aire/ acetileno	aire/ acetileno
<b>Corriente de la lámpara (mV)</b>	4	4	7
<b>Abertura (SLIT) (nanómetros)</b>	0.5	0.5	0.2

**PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN**

Es indispensable preparar una serie de soluciones patrón de concentración conocida y creciente del elemento (metal) a analizar, de tal manera que proporcione una curva de calibración, la cual se pueda usar para calcular la concentración del metal en las muestras problema.

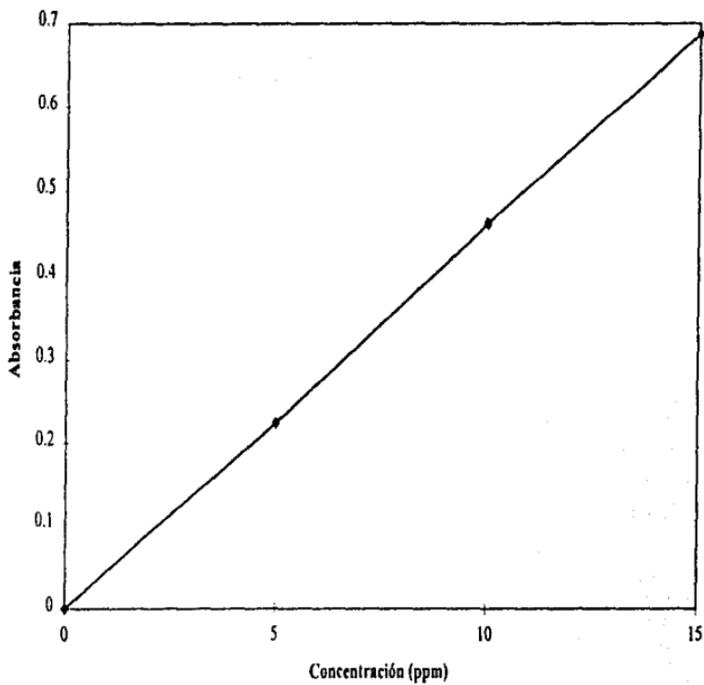
Se prepararon tres curvas de calibración correspondientes a cada uno de los metales: Ag, Hg y Cr a partir de soluciones patrón, cuyas concentraciones para cada metal fueron de:

**PLATA:** 5, 10 y 15 ppm

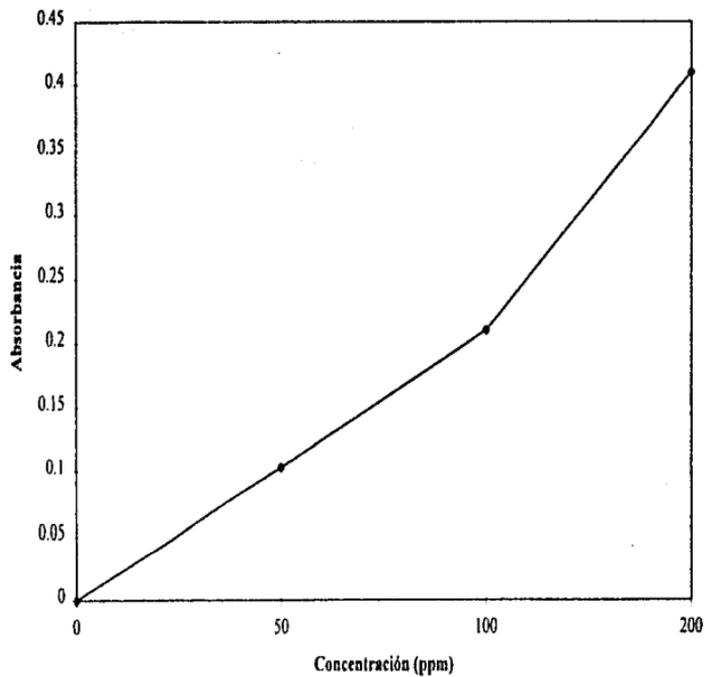
**CROMO:** 5, 10, y 15 ppm

**MERCURIO :** 50, 100, y 200 ppm

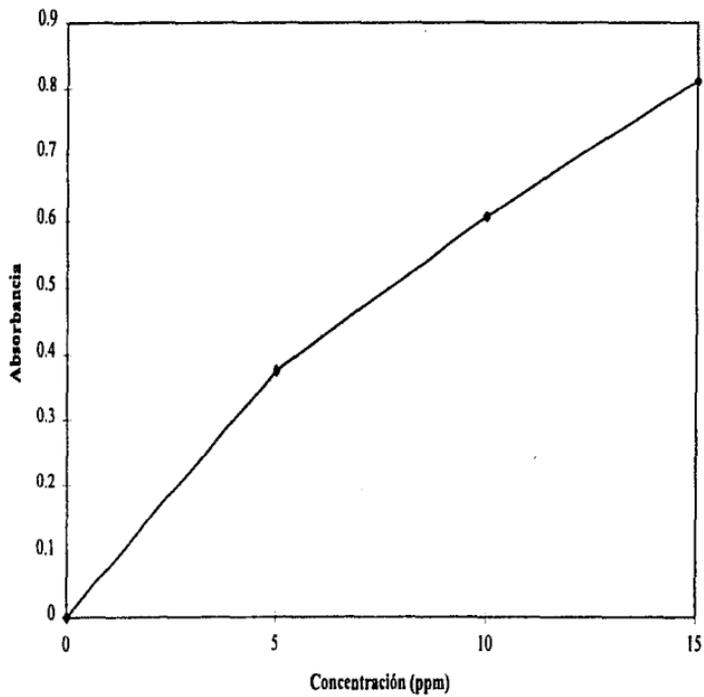
Los resultados se muestran en las gráficas II.2 a la II.4



Gráfica II.2 Curva de calibración para PLATA



**Gráfica II.3 Curva de calibración para MERCURIO**



Gráfica 11.4 Curva de calibración para CROMO

## LECTURA DE LA CONCENTRACIÓN DE PLATA, MERCURIO Y CROMO

Después de realizar las curvas de calibración para cada uno de los metales, se procede a leer la concentración de cada uno de ellos, para esto algunas muestras se tuvieron que diluir para que entraran dentro del intervalo de la curva de calibración. Las tablas II.1 a la II.3 muestran las lecturas

Tabla II.1 Lecturas para concentración de plata

MUESTRA	CONC (ppm)	%RSD	MEAN ABS	LECTURAS		
BLANCO	0.0		-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
ESTANDAR 1	5.0	0.6	0.224	0.224	0.226	0.223
ESTANDAR 2	10.0	0.6	0.461	0.463	0.458	0.461
ESTANDAR 3	15.0	0.4	0.687	0.690	0.686	0.685
MUESTRA 1 (TANQUE 1)	2.0	1.1	0.088	0.087	0.088	0.089
MUESTRA 2 (TANQUE 2)	0.1	19.5	0.004	0.003	0.005	0.004
MUESTRA 3 (TANQUE 3)	1.2	0.5	0.056	0.056	0.056	0.055
MUESTRA 4 (TANQUE 4)	0.1	14.6	0.005	0.003	0.003	0.002
MUESTRA 5 (TANQUE 1)	0.9	0.2	0.040	0.040	0.040	0.040
MUESTRA 6 (TANQUE 2)	0.9	4.4	0.006	0.006	0.006	0.006
MUESTRA 7 (TANQUE 3)	1.5	0.9	0.068	0.068	0.069	0.067
MUESTRA 8 (TANQUE 4)	0.7	1.8	0.030	0.030	0.030	0.029

Las muestras 1, 2, 3 y 4 corresponden a la concentración al inicio (antes de aplicar el proceso de eliminación de metales), las muestras 1 y 3 se tuvieron que diluir 5:100 y después 1:25. Las muestras 2 y 4 se tuvieron que diluir 5:100.

Las muestras 5, 6, 7 y 8 corresponden a la concentración final (después de aplicar el proceso de eliminación de metales)

**Tabla II.2 Lecturas para concentración de mercurio**

MUESTRA	CONC (ppm)	%RSD	MEAN ABS	LECTURAS		
BLANCO	0.0		-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
ESTANDAR 1	50.0	0.7	0.103	0.103	0.103	0.104
ESTANDAR 2	100.0	0.5	0.210	0.209	0.210	0.211
ESTANDAR 3	200.0	1.3	0.410	0.405	0.411	0.415
MUESTRA 1 (TANQUE 1)	113.9	0.9	0.238	0.236	0.239	0.240
MUESTRA 2 (TANQUE 2)	69.5	1.9	0.144	0.147	0.144	0.142
MUESTRA 3 (TANQUE 3)	92.5	0.7	0.194	0.193	0.195	0.193
MUESTRA 4 (TANQUE 4)	130.1	0.5	0.271	0.273	0.270	0.271
MUESTRA 5 (TANQUE 1)	53.8	1.2	0.111	0.112	0.112	0.110
MUESTRA 6 (TANQUE 2)	173.6	0.1	0.358	0.359	0.358	0.359
MUESTRA 7 (TANQUE 3)	206.9	0.1	0.424	0.425	0.425	0.423
MUESTRA 8 (TANQUE 4)	191.8	0.8	0.394	0.397	0.391	0.394
MUESTRA 9 (TANQUE 1)	16.2	1.8	0.033	0.034	0.033	0.033
MUESTRA 10 (TANQUE 2)	28.2	0.8	0.058	0.058	0.059	0.058
MUESTRA 11 (TANQUE 3)	27.1	1.3	0.056	0.057	0.055	0.056
MUESTRA 12 (TANQUE 4)	29.2	47.4	0.202	0.218	0.290	0.099

Las muestras 1, 2, 3 y 4 corresponden a la concentración de  $Hg_{total}$  (antes de aplicar el proceso de eliminación de metales), las cuatro muestras se tuvieron que diluir 20:100

Las muestras 5, 6, 7 y 8 corresponden a la concentración de  $Hg^{2+}$  (antes de aplicar el proceso de eliminación de metales), la muestra 8 se tuvo que diluir 10:25

Las muestras 9, 10, 11 y 12 corresponden a la concentración final del residuo (después de aplicar el proceso de eliminación de metales)

Tabla II.3 Lecturas para concentración de cromo

MUESTRA	CONC (ppm)	%RSD	MEAN ABS	LECTURAS		
BLANCO	0.0		-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
ESTANDAR 1	5.0	0.2	0.376	0.377	0.375	0.376
ESTANDAR 2	10.0	0.6	0.607	0.610	0.603	0.609
ESTANDAR 3	15.0	0.8	0.813	0.820	0.809	0.810
MUESTRA 1 (TANQUE 1)	7.82	0.4	0.518	0.519	0.516	0.519
MUESTRA 2 (TANQUE 2)	4.61	0.8	0.346	0.348	0.343	0.348
MUESTRA 3 (TANQUE 3)	14.76	0.2	0.802	0.803	0.801	0.803
MUESTRA 4 (TANQUE 4)	3.46	1.3	0.260	0.264	0.260	0.257
MUESTRA 5 (TANQUE 1)	0.71	1.3	0.053	0.053	0.054	0.052
MUESTRA 6 (TANQUE 2)	3.33	1.3	0.250	0.254	0.249	0.248
MUESTRA 7 (TANQUE 3)	7.93	1.2	0.523	0.522	0.530	0.517
MUESTRA 8 (TANQUE 4)	0.67	3.0	0.050	0.052	0.050	0.049
MUESTRA 9 (TANQUE 1)	0.03	4.2	0.003	0.003	0.003	0.002
MUESTRA 10 (TANQUE 2)	0.05	5.7	0.004	0.004	0.004	0.004
MUESTRA 11 (TANQUE 3)	0.07	1.1	0.006	0.005	0.006	0.006
MUESTRA 12 (TANQUE 4)	0.05	5.7	0.004	0.004	0.004	0.004

Las muestras 1, 2, 3 y 4 corresponden a la concentración de  $Cr_{total}$  (antes de aplicar el proceso de eliminación de metales), las muestras 1 y 3 se tuvieron que diluir 3:100, las muestras 2 y 4 se tuvieron que diluir 3:100 y después 5:25.

Las muestras 5, 6, 7 y 8 corresponden a la concentración de  $Cr^{6+}$  (antes de aplicar el proceso de eliminación de metales), la muestra 6 se tuvo que diluir primero 1:25 y después 5:25, la muestra 7 se tuvo que diluir 5:25.

Las muestras 9, 10, 11 y 12 corresponden a la concentración final del residuo (después de aplicar el proceso de eliminación de metales).

## ANEXO III

### PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE METALES

#### Ácido clorhídrico 2N

- 1) En un matraz aforado de 1L se pone agua destilada hasta arriba de la mitad.
- 2) Se le agrega 166.6mL. de ácido clorhídrico concentrado, lentamente, por las paredes del matraz (bajo la campana).
- 3) Se lleva hasta la marca del aforo con agua destilada.

#### Hidróxido de sodio 8N

- 1) Se pesan 320g de hidróxido de sodio grado industrial.
- 2) El hidróxido de sodio es colocado en un vaso de precipitado de 1L.
- 3) Se le agrega agua hasta donde el vaso de precipitado marque 800mL.
- 4) El vaso de precipitado con el hidróxido de sodio se ponen en una parrilla de agitación y es agitada por medio de un agitador electromagnético durante 10 minutos (bajo la campana)

Nota: Tener cuidado debido a que la reacción es sumamente exotérmica.

- 5) Se retira el vaso de precipitado de la parrilla de agitación con un guante de asbesto debido a que el vaso de precipitados está sumamente caliente.
- 6) El vaso de precipitados se deja bajo la campana durante 1 hora para que se enfríe.
- 7) Con un embudo se pasa la solución de hidróxido de sodio a un matraz aforado de 1L y se completa con agua hasta la marca de aforo.

**ANEXO IV**  
**NOM-052-ECOL-1993**

~~SECRETARIA~~

22-oct-93  
3a Secc.

22-oct-93



# DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION

ORGANO DEL GOBIERNO CONSTITUCIONAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

---

SECRETARIA DE DESARROLLO  
SOCIAL

NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
EN MATERIA DE PROTECCION AMBIENTAL

1993

## TERCERA SECCION

## SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL

**NORMA oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Desarrollo Social

**SERGIO REYES LUJAN**, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracción XXV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 50 fracciones VIII y XIX, 80 Fracciones II y VII, 36, 37, 43, 150, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 40 fracción I, 50, y 60 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, 38 fracción II, 40 fracciones X y XVII, 41, 43, 49, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, Primero y Segundo del Acuerdo por el que se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

## CONSIDERANDO

Que los residuos peligrosos en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas, biológico infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico; por lo que es necesario definir cuáles son esos residuos, identificándolos y ordenándolos por giro industrial y por proceso, los generados por fuente no específica, así como los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CRP-001/93, que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de julio de 1993, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 10 de julio de 1993, la sustitución de la clave NOM-PA-CRP-001/93, con que fue publicado el proyecto de la presente

norma oficial mexicana, por la clave NOM-CRP 001-ECOL/1993, que en lo subsiguiente se identificará.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V, número especial de octubre de 1993.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 5 de octubre de 1993, he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CRP-001-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS, EL LISTADO DE LOS MISMOS Y LOS LÍMITES QUE HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE.**

## PREFACIO

En la Elaboración de esta norma oficial mexicana participaron

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL  
Instituto Nacional de Ecología  
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- SECRETARIA DE GOBERNACION
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL
- SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
- SECRETARIA DE SALUD  
Direccion General de Salud Ambiental
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
    - Secretaría de Ecología
  - COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
  - PETROLEOS MEXICANOS
    - Auditoría de Seguridad Industrial
    - Protección Ambiental y Ahorro de Energía
    - Gerencia de Protección Ambiental y Ahorro de Energía
    - Pemex-Gas y Petroquímica Básica
    - Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental
  - ALTOS HORNOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.
  - ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE PINTURAS Y TINTAS
  - ASOCIACION MEXICANA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ
  - ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA
  - BECTON DICKINSON DE MEXICO, S.A. DE C.V.
  - BUFETE QUIMICO, S.A. DE C.V.
  - CAMARA DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION DE MONTERREY
  - CAMARA MINERA DE MEXICO
  - CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL
  - CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION
  - CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO
  - CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA
  - CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA HULERA
  - CELANESE MEXICANA, S.A. DE C.V.
  - CEMENTOS APASCO, S.A. DE C.V.
  - CHEMICAL WASTE MANAGEMENT DE MEXICO, S.A. DE C.V.
  - COLEGIO NACIONAL DE INGENIEROS QUIMICOS.
  - COMERCIAL MEXICANA DE PINTURAS
  - COMPAÑIA HULERA TORNEL, S.A. DE C.V.
  - CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES
  - DISTRIBUIDORA KROMA, S.A. DE C.V.
  - DUPONT, S.A. DE C.V.
  - GENERAL MOTORS DE MEXICO, S.A. DE C.V.
  - GRUPO PRYC ASESORIA INDUSTRIAL, S.C.
  - INGENIERIA PARA EL CONTROL DE RESIDUOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.
  - INSTITUTO DE PROTECCION AMBIENTAL
  - INSTITUTO MEXICANO DE FIBRO INDUSTRIAS
  - INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
  - INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
  - MAPLE CONSTRUCCIONES Y CONSULTORIA, S.A. DE C.V.
  - MATERIALES INOXIDABLES, S.A.
  - METALOIDES, S.A. DE C.V.
  - MEXALIT INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
  - PROCTER & GAMBLE DE MEXICO, S.A. DE C.V.
  - PRODUCTOS TEXACO, S.A. DE C.V.
  - RESIDUOS INDUSTRIALES MULTIQUM, S.A. DE C.V.
  - SERVICIO DE INGENIERIA Y CONTROL AMBIENTAL, S.A.
  - TF VICTOR
  - UNIROYAL, S.A. DE C.V.
  - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
  - UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
1. OBJETO
- Esta norma oficial mexicana establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
2. CAMPO DE APLICACION
- Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la definición y clasificación de residuos peligrosos.
3. REFERENCIAS
- NOM-CRP-002-ECOL Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

**4. DEFINICIONES****4.1 Cretio**

El código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso.

**4.2 Fuente no específica**

Las actividades que generan residuos peligrosos y que pueden aplicarse a diferentes tipos o procesos.

**4.3 Proceso**

El conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo y embalaje de productos intermedios o finales.

**4.4 Solución acuosa**

La mezcla en la cual el agua es el componente primario y constituye por lo menos el 50% en peso de la muestra.

**5. CLASIFICACIÓN DE LA DESIGNACIÓN DE LOS RESIDUOS****5.1 El procedimiento a seguir por el generador**

CARACTERÍSTICAS	No SEDESOL
Corrosividad (C)	P 01
Reactividad (R)	P 02
Explosividad (E)	P 03
Toxicidad al Ambiente (T)	El correspondiente al contaminante tóxico según las Tablas 5, 6 y 7
Inflamabilidad (I)	
Biológico infeccioso (B)	P 04
	P 05

5.5 Además de los residuos peligrosos comprendidos en las tablas 1 (anexo 2), 2 (anexo 3), 3 y 4 (anexo 4), se considerarán peligrosos aquellos que presenten una o más de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y/o biológico infeccioso, atendiendo a los siguientes criterios.

5.5.1 Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

5.5.1.1 En estado líquido o en solución acuosa presenta un pH sobre la escala menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5

5.5.1.2 En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55° C es capaz de corroer el acero al carbono (SAE 1020), a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año.

5.5.2 Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

de residuos para determinar si son peligrosos o no, se muestra en el anexo 1.

5.2 Se considerarán como peligrosos los residuos clasificados en las tablas 1 (anexo 2), 2 (anexo 3), 3 y 4 (anexo 4), así como los considerados en el punto 5.5. En casos específicos y a criterio de la Secretaría de Desarrollo Social, podrán ser excluidos aquellos residuos que habiendo sido listados como peligrosos en las tablas 1, 2, 3 y 4 de los mencionados anexos, puedan ser considerados como no peligrosos porque no excedan los parámetros establecidos para ninguno de las características indicadas en el punto 5.5.

5.3 Los residuos peligrosos atendiendo a su fuente generadora se clasifican en residuos peligrosos por tipo industrial y por procesos, así como por fuente no específica de acuerdo a las tablas 1 (anexo 2), 2 (anexo 3), 3 y 4 (anexo 4).

5.4 Para fines de identificación y control, en tanto la Secretaría no los incorpore en cualquiera de las tablas 1 (anexo 2), 2 (anexo 3) ó 3 y 4 (anexo 4), los residuos determinados en el punto 5.5 se denominarán como se indica en la siguiente tabla.

5.5.2.1 Bajo condiciones normales (25 °C y 1 atmósfera), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.

5.5.2.2 En condiciones normales (25° °C y 1 atmósfera) cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.

5.5.2.3 Bajo condiciones normales cuando se ponen en contacto con soluciones de pH ácido (HCl: 1.0 N) y básico (NaOH: 1.0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.

5.5.2.4 Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCN/kg de residuo o 500 mg de H<sub>2</sub>S/kg de residuo.

**5.5.2.5 Es capaz de producir radicales libres.**

5.5.3 Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

5.5.3.1 Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobeneno.

5.5.3.2 Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg/cm<sup>2</sup> de presión.

5.5.4 Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando presenta la siguiente propiedad:

5.5.4.1 Cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad conforme a la norma oficial mexicana NCM-CRP-002-ECOL/1993, el líquido de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes listados en las tablas 5, 6 y 7 (anexo 5) en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas.

5.5.5 Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

5.5.5.1 En solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volumen.

5.5.5.2 Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60° C.

5.5.5.3 No es líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C y a 1.03 kg/cm<sup>2</sup>.

5.5.4 Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.

5.5.6 Un residuo con características biológico infecciosas se considera peligroso cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

5.5.6.1 Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección.

5.5.6.2 Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos.

5.6 La mezcla de un residuo peligroso conforme a esta norma con un residuo no peligroso será considerada residuo peligroso.

**6. MANEJO**

6.1 Los residuos que hayan sido clasificados como peligrosos y los que tengan las características de peligrosidad conforme a esta norma oficial mexicana deberán ser manejados de acuerdo a lo previsto en el Reglamento de la Ley

General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, las normas oficiales mexicanas correspondientes y demás procedimientos aplicables.

**7. VIGILANCIA**

7.1 La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

**8. SANCIONES**

8.1 El incumplimiento a esta norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo establecido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y demás disposiciones jurídicas aplicables.

**9. BIBLIOGRAFIA**

9.1 Code of Federal Regulations/Código de Regulaciones Federales, Vol. 40, Part. 260, 1991 U.S.A. (Código Federal de Regulaciones, Vol. 40, Parte 260, 1991, Estados Unidos de América).

9.2 NIOSH/OSHA, U.S. Departamento de Salud y Recursos Humanos. U.S. Departamento de Trabajo. DHHS (NIOSH) No. 81-123, January 1981, (Guía Sanitaria para Residuos Químicos).

9.3 Registro Internacional de Tóxicos Químicos Potenciales. Ginebra 1982.

**10. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta norma oficial mexicana coincide parcialmente con el Code of Federal Regulations, Vol. 40, Part. 260, 1991 U.S.A. (Código Federal de Regulaciones, Vol. 40, Parte 260, 1991, Estados Unidos de América).

**11. VIGENCIA**

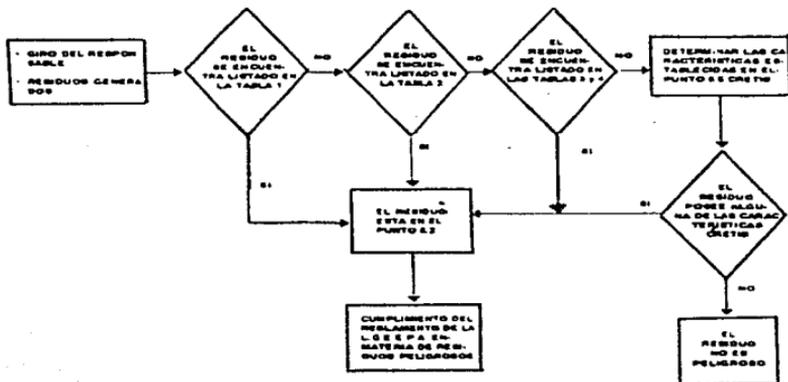
11.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

11.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la Norma Técnica Ecológica NTE-CRP-001/88, que establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 1988.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los diechocho días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres.- El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Luján.- Rúbrica.

## ANEXO 1

## DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS



## ANEXO 2

## TABLA 1

## CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS POR GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO.

No. DE GIRO	INDUSTRIAL Y PROCESO	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	NO
1	ACABADO DE METALES Y GALVANOPLASTIA			
1.1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE METALES PARA REMOVER SOLUCIONES CONCENTRADAS	RP1.101
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DEL DESENGRASADO	RP1.102
		(T)	SALES PRECIPITADAS DE LOS BAÑOS DE REGENERACION DE NIQUEL	RP1.103
		(T)	BAÑOS DE ANODIZACION DEL ALUMINIO	RP1.104
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL LATONADO	RP1.106
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CADMIZADO	RP1.108
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CROMADO	RP1.107
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL COBRIZADO	RP1.108
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL PLATEADO	RP1.109
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ESTAÑADO	RP1.110
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL NIQUELADO	RP1.111
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ZINCADO	RP1.112
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL TROPICALIZADO	RP1.113
		(T)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO POR ACEITES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES	RP1.114 -
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y SEDIMENTOS DE LOS BAÑOS DE CIANURO DE LAS OPERACIONES DE GALVANOPLASTIA	RP1.115
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS DE CIANURO DE LOS TANQUES DE LIMPIEZA CON SALES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES	RP1.116
		(T.C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS BAÑOS DE FOSFATIZADO	RP1.117

	(T.C)	RESIDUOS DE CATALIZADORES AGOTADOS	RP1.1/18
2 BENEFICIO DE METALES	(T)	RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO DE LOS PROCESOS ELECTROLITICOS	RP1.1/19
2.1 FUNDICION DE PLOMO PRIMARIA	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO	RP2.1/01
	(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA LAGUNA DE EVAPORACION	RP2.1/02
	(T)	SOLUCION RESIDUAL DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENE DEL PROCESO DEL AFINADO	RP2.1/03
2.2 FUNDICION DE PLOMO SECUNDARIO	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO	RP2.2/01
	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO	RP2.2/02
	(T)	LODOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP2.2/03
	(T)	LODOS PROVENIENTES DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENEN DEL PROCESO DEL AFINADO	RP2.2/04
2.3 PRODUCCION DE ALUMINIO	(C.T)	LODOS DE LAS SOLUCIONES DE CAL DEL LAVADOR DE GASES EN LA FUNDICION Y REFINADO DE ALUMINIO	RP2.3/01
	(C.T)	SOLUCIONES GASTADAS PROVENIENTES DE LA EXTRUSION	RP2.3/02
	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO DE FUNDICION DE CHATARRA DE ALUMINIO	RP2.3/03
2.4 PRODUCCION PRIMARIA DE COBRE	(T)	LODOS DE LAS PURGAS DE LAS PLANTAS DE ACIDO	RP2.4/01
	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE	RP2.4/02
2.5 PRODUCCION SECUNDARIA DE COBRE	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO	RP2.5/01
	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE	RP2.5/02
2.6 PRODUCCION DE COQUE	(T)	LODOS DE DESTILACION CON CAL AMONIACAL	RP2.6/01

		(T)	LIXIVIADOS Y CENIZAS DEL PROCESO DE COQUIZADO.	RP2.5/02
		(T)	LODOS DE ALQUITRAN DEL TANQUE SEDIMENTADOR.	RP2.5/03
2.7	PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO	(T)	RESIDUOS DEL ACEITE GASTADO	RP2.7/01
		(C,T)	LICOR GASTADO EN LAS OPERACIONES DE ACERO INOXIDABLE.	RP2.7/02
		(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE HORNO ELECTRICOS	RP2.7/03
2.8	PRODUCCION DE ALEACIONES DE HIERRO	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES EN LA PRODUCCION DE HIERRO-CROMO.	RP2.8/01
		(T)	COLAS EN LAS PLANTAS DE MANUFACTURA DE HIERRO-NIQUEL.	RP2.8/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO	RP2.8/03
		(T)	CASCARILLA Y/O COSTRAS METALICAS ACEITOSAS DEL PROCESO DE FORJA EN CALIENTE.	RP2.8/04
2.9	PRODUCCION DE COMPUESTOS DE NIQUEL	(T)	LODOS DE LA MANUFACTURA DE ALEACIONES DE NIQUEL.	RP2.9/01
		(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CARBONOLO DE NIQUEL.	RP2.9/02
2.10	PRODUCCION PRIMARIA DE ZINC.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y/O PURGAS DE LA PLANTA DE ACIDO	RP2.10/01
		(T)	LODOS DEL ANODO ELECTROLITICO	RP2.10/02
		(T)	RESIDUO DEL LIXIVIADO DE CADMIO	RP2.10/03
3.	COMPONENTES ELECTRONICOS			
3.1	OPERACIONES DE MAQUILA FORMACION Y TERMOFORMACION PLASTICA DE COMPONENTES ELECTRONICOS	(I,T)	ACEITES RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.1/01
3.2	OPERACIONES DE MAQUILA QUIMICA/ELECTRO-QUIMICA Y REVESTIMIENTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.2/01
3.3	OPERACIONES DE REVESTIMIENTO DECOMPONENTES ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE PINTURA.	RP3.3/01

3.4	PRODUCCION DE CINTAS MAGNETICAS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP3 401
3.5	PRODUCCION DE CIRCUITOS ELECTRONICOS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP3.501
3.6	PRODUCCION DE SEMICONDUCTORES	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP3 601
3.7	PRODUCCION DE TUBOS ELECTRONICOS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP3 701
4.	CURTIDURIA			
4.1	ACABADO DE PRODUCTOS DE CUERO	(T)	RESIDUOS DE LOS ACABADOS	RP4.101
4.2	CURTIDO DE CUERO	(C.T)	RESIDUOS DE LA CURTIDURIA	RP4 201
5	EXPLOSIVOS			
5.1	PRODUCCION EN GENERAL	(R.E)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP5.101
		(R.E)	CARBON AGOTADO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE CONTIENEN EXPLOSIVOS	RP5.102
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA FABRICACION, FORMULACION Y CARGA DE LOS COMPUESTOS INICIADORES DEL PLOMO BASE	RP5.103
		(R.E)	AGUA ROSA-ROJA DE LAS OPERACIONES DE TNT	RP5.104
		(R.E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE CERILLOS Y PRODUCTOS PIROTECNICOS	RP5.105
		(R.E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DEL PROPELENTE SOLIDO	RP5.106
6.	PRODUCCION DE HULE			
6.1	HULE SINTETICO Y NATURAL	(T)	MATERIALES DE DESECHO PROVENIENTES DE LA TRANSFORMACION EN LA MANUFACTURA DE HULE NATURAL Y SINTETICO	RP6.101
		(T)	RESIDUOS DE NITROBENCENO PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA HULERA	RP6.102
7	MATERIALES PLASTICOS Y RESINAS SINTETICAS			
7.1	PRODUCCION DE FIBRA DE RAYON	(T.I)	FONDALJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.101
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.102
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.103

7.2	PRODUCCION DE LATEX ESTIRENOBUTADIENO.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7 201
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7 202
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7 203
7.3	PRODUCCION DE RESINAS ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO	(T)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7 301
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7 302
		(T,I)	LODOS DE AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7 303
		(T)	PIGMENTOS RESIDUALES.	RP7 304
7.4	PRODUCCION DE RESINAS DERIVADAS DEL FENOL.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7 401
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7 402
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7 403
7.5	PRODUCCION DE RESINAS POLIESTER.	(T)	CATALIZADOR GASTADO	RP7 501
		(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7 502
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7 503
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7 504
		(T)	PIGMENTOS RESIDUALES	RP7 505
7.6	PRODUCCION DE RESINAS DE POLIURETANO.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7 601
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	RP7 602
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7 603
7.7	PRODUCCION DE RESINAS DE SILICON.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7 701
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.	RP7 702

	(T)	LOCOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7 7/03	
	(T)	SOLVENTES GASTADOS	RP7 7/04	
7 8	PRODUCCION DE RESINAS VINILICAS	(T.I)	FONDALES DE TAJUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7 8/01
	(T)	LOCOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7 8/02	
8	METALMECANICA			
8 1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	ACEITES GASTADOS DE CORTE Y ENFRIAMIENTO EN LAS OPERACIONES DE TALLERES DE MAQUINADO	RP8 1/01
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE BARRENADO Y ESMERILADO	RP8 1/02	
	(T)	SOLUCIONES DE LOS BAÑOS DE TEMPLADO PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE ENFRIAMIENTO	RP8 1/03	
	(C.T)	RESIDUOS DE LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA ALCALINA O ACIDA	RP8 1/04	
	(T.I)	PINTURAS, SOLVENTES, LOCOS, LIMPIADORES Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO, PINTADO Y LIMPIEZA	RP8 1/05	
	(T)	LOCOS PRODUCTO DE LA REGENERACION DE ACEITES GASTADOS	RP8 1/06	
9	MINERIA			
9 1	EXTRACCION DE ANTIMONIO	(T)	JALES Y COLAS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL	RP9 1/01
9 2	EXTRACCION DE OXIDOS DE COBRE	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL A TRAVES DE LIXIVIACION POR CEMENTACION DE FIERRO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL HIERRO	RP9 2/01
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR EL PROCESO DE LIXIVIACION POR VERTIDO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL HIERRO	RP9 2/02	
	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE LIXIVIACION INSITU SEGUIDA POR PRECIPITACION DEL HIERRO	RP9 2/03	
9 3	EXTRACCION DE PIRITA DE COBRE	(T)	JALES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR LAS TECNICAS DE FLOTACION Y LIXIVIADO EN TINA	RP9 3/01

	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL MEZCLADOS CON OXIDOS DE COBRE USANDO LA TECNICA DE PRECIPITACION DEL HIERRO	RP9.302
9.4 EXTRACCION DEL PLOMO ZINC.	(T)	JALES PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS POR FLOTACION	RP9.401
10. PETROLEO Y PETROQUIMICA.			
10.1 EXTRACCION DE PETROLEO	(R.1)	RECORTE DE PERFORACION DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USEN LOOS DE EMULSION INVERSA	RP10.1/01
10.2 REFINACION DEL PETROLEO	(T)	NATAS DEL SISTEMA DE FLOTACION CON AIRE DISUELTO (FAD)	RP10.2/01
	(T)	LOOS DEL SEPARADOR API Y CARGAMOS	RP10.2/02
	(T)	LOOS SIN TRATAR DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA	RP10.2/03
	(T)	LOOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS QUE CONTENGAN METALES PESADOS O SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA	RP10.2/04
10.3 PETROQUIMICA.			
10.3.1 PRODUCCION DE ACRILONITRILO	(T)	POLIMERO Y CATALIZADOR USADO DE LA PURGA DE LA TORRE DE APAGADO	RP10.3.1/01
10.3.2 PRODUCCION DE BUTADIENO.	(T)	RESIDUOS DE LA DESHIDROGENACION DEL N-BUTANO	RP10.3.2/01
10.3.3 PRODUCCION DE DERIVADOS CLORADOS	(C.T.1)	CLORADOS INTERMEDIOS PROVENIENTES DEL FONDO DE LA COLUMNA REDESTILADORA DE MONOMERO DE CLORURO DE VINILO	RP10.3.3/01
	(C.T.1)	CLORADOS PESADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION DE DICLOROETANO	RP10.3.3/02
10.3.4 PRODUCCION DE ACETALDEHIDO	(C.T.1)	CROTONALDEHIDO RESIDUAL DEL CORTE LATERAL DE LA TORRE DE DESTILACION DEL PROCESO VIA OXIGENO	RP10.3.4/01
	(C.T)	CLORACETALDEHIDO PROVENIENTE DEL FONDO DE LA TORRE PURIFICADORA Y TORRE LATERAL DEL PROCESO VIA AIRE	RP10.3.4/02

10.3.5	PRODUCCION DE ESTIRENO-ETILBENCENO	(T)	CATALIZADOR CON OXIDOS DE FIERRO, CROMO Y POTASIO PROVENIENTES DEL REACTOR DE DESHIDROGENACION.	RP10.3.5/01
10.3.6	PRODUCCION DE PERCLOROETILENO	(T)	DERIVADOS HEXACLORADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE PERCLOROETILENO	RP10.3.6/01
10.3.7	TRATAMIENTO PRIMARIO DE EFLUENTES	(T.I)	LODOS DE LOS SEPARADORES API Y CARCAMOS	RP10.3.7/01
11	PINTURAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS.	(T)	RESIDUOS DE RETARDADORES DE FLAMA Y PINTURAS DE BASE	RP11.1/01
		(T)	RESIDUOS DEL SECADOR DE BARNIZ.	RP11.1/02
11.1	PRODUCCION DE MASTIQUE Y PRODUCTOS DERIVADOS	(T.C)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP11.1/03
		(T)	BOLSAS Y EMPAQUES DE MATERIA PRIMA.	RP11.1/04
		(T)	RESIDUOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE	RP11.1/05
11.2	PRODUCCION DE PINTURAS	(T.I)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE SOLVENTE.	RP11.2/01
		(T)	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCION DE PINTURAS ENJUSTADAS EN EL ANEXO 4	RP11.2/02
		(T.I)	BOLSAS Y ENVASES DE MATERIA PRIMA ENJUSTADAS EN EL ANEXO 4	RP11.2/03
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA PRODUCCION	RP11.2/04
		(T)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE-AGUA	RP11.2/05
12	PLAGUICIDAS			
12.1	PRODUCCION DEL ACIDO ETILENO-BISDITOCARBAMICO Y SUS SALES	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO (INCLUYENDO SOBRENADANTES, FILTRADOS Y AGUAS DE LAVADO)	RP12.1/01
		(C.T)	AGUAS DE LAVADO DEL VENTEO DEL REACTOR	RP12.1/02
		(T)	SOLIDOS DE LA FILTRACION, EVAPORACION Y CENTRIFUGADO	RP12.1/03
		(T)	POLVOS RECOLECTADOS EN FILTROS DE BOLSA Y BARRIDO DEL PISO EN LAS	

			OPERACIONES DE MOLIENDA Y EMBALAJE.	RP12.1/04
12.2	PRODUCCION DE ATRACINA	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.2/01
12.3	PRODUCCION DE BROMURO DE METILO	(C.T)	AGUAS RESIDUALES DEL RECTOR Y ACIDO SULFURICO GASTADO DEL SECADOR DEL ACIDO	RP12.3/01
		(T)	ABSORBENTES GASTADOS Y AGUAS RESIDUALES DEL SEPARADOR DE SOLIDOS	RP12.3/02
12.4	PRODUCCION DE CLORDANO	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.4/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES Y AGUAS DE LAVADO DE LA CLORACION DEL CICLOPENTADIENO	RP12.4/02
		(T)	SOLIDOS RETENIDOS EN LA FILTRACION DE HEXACLOROCICLOPENTADIENO.	RP12.4/03
		(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR AL VACIO DEL CLORADOR DE CLORDANO	RP12.4/04
12.5	PRODUCCION DE CLOROTOLUENO	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.5/01
12.6	PRODUCCION DE CREOSOTA	(J)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.6/01
12.7	PRODUCCION DE 2,4-D (DICLOROFENOL)	(T)	RESIDUOS DEL 2,6-DICLOROFENOL	RP12.7/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS.	RP12.7/02
12.8	PRODUCCION DE DISULFOTON	(T)	FONDOS DE DESTILACION EN LA RECUPERACION DE TOLUENO	RP12.8/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.8/02
12.9	PRODUCCION DE FORATO	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO.	RP12.9/01
		(T)	SOLIDOS DE LA FILTRACION DEL ACIDO DIETILFOSFORDIOMICO	RP12.9/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.9/03
12.10	PRODUCCION DE MALATION	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.10/01
12.11	PRODUCCION DE METIL METARSENIATO DE SODIO Y ACIDO CACODILICO	(T)	SUBPRODUCTOS SALINOS.	RP12.11/01
12.12	PRODUCCION DE PARATION Y METIL PARATION.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP12.12/01
12.13	PRODUCCION DE TOXAFENO	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP12.13/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS DEL PROCESO	RP12.13/02
13	PRESERVACION DE LA MADERA PRODUCCION EN GENERAL	(T)	LODOS SEDIMENTADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN PROCESOS	

			QUE UTILIZAN: CRESOTA, CLOROFENOL, PENTACLOROFENOL Y ARSENICALES.	RP13.1/01
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE CLORACION EN LA PRODUCCION DE PRESERVATIVOS PARA MADERA	RP13.1/02
14	PRODUCCION DE BATERIAS			
14.1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE PLOMO ACIDO	RP14.1/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE NIQUEL-CADMIO	RP14.1/02
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO	RP14.1/03
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS ZINC-CARBONO	RP14.1/04
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE BATERIAS ALCALINAS	RP14.1/05
		(T)	BATERIAS DE DESECHOS Y RESIDUOS DE LOS HORNOS DE LA PRODUCCION DE BATERIAS DE MERCURIO	RP14.1/06
		(C.T)	BATERIAS DE DESECHO DE LA PRODUCCION DE BATERIA DE PLOMO ACIDO	RP14.1/07
15	QUIMICO FARMACEUTICA			
15.1	PRODUCCION DE FARMOQUIMICOS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/01
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/02
		(T)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/03
15.2	ELABORACION DE MEDICAMENTOS	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION Y MATERIALES CADUCOS O FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.2/01
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.2/02
15.3	PRODUCCION DE BIOLOGICOS	(B)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION, MATERIALES CADUCOS Y FUERA DE ESPECIFICACION	RP15.3/01
		(T)	RESIDUOS DE PROCESOS QUE CONTENGAN SUSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE	RP15.3/02
15.4	PRODUCCION DE HEMODERIVADOS	(B)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACIONES.	RP15.4/01

15.5	PRODUCCION DE PRODUCTOS VETERINARIOS DE COMPUESTOS DE ARSENIACO U ORGANIO-ARSENICALES	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP15 501
		(T)	RESIDUOS DE DESTILACION (BREAS) DE COMPUESTOS A BASE DE ANILINA	RP15 502
16	QUIMICA INORGANICA			
16.1	PRODUCCION DE ACIDO FLUORHIDRICO	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	RP16 101
16.2	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE DIAFRAGMA USANDO ANODOS DE GRAFITO)	(T)	RESIDUOS DE HIDROCARBUROS CLORADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION	RP16 201
16.3	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE MERCURIO)	(T)	LODOS DE LA PURIFICACION DE SALMUERA DONDE LA SALMUERA PURIFICADA SEPARADA NO SE UTILIZA	RP16 301
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP16 302
		(T)	CATALIZADOR AGOTADO DE CLORURO DE MERCURIO	RP16 303
16.4	PRODUCCION DE FOSFORO	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO	RP16 401
		(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP16 402
16.5	PRODUCCION DE PIGMENTOS DE CROMO Y DERIVADOS.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA Y AMARILLO DE CROMO	RP16 501
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE CROMO	RP16 502
		(T)	FILTRO AYUDA GASTADO (TORTAS DE FILTROS)	RP16 503
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO (ANHIDROS E HIDRATADOS)	RP16 504
		(T)	RESIDUOS DEL HORNO DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO	RP16 505
16.6	PRODUCCION DE TINTOS PIGMENTOS INORGANICOS	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA DE MOUBOATO.	RP16 601

		(T)	LOCOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AMARILLOS DE ZINC.	RP16 5002
		(T)	LOCOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AZULES DE HIERRO	RP16 5003
17	QUIMICA ORGANICA			
17.1	PRODUCCION DE ACETALDEHIDO A PARTIR DEL ETILENO	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17 1001
		(T)	CORTES LATERALES EN LA ETAPA DE DESTILACION	RP17 1002
17.2	PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DEL NAFTALENO	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA DESTILACION	RP17 2001
		(T)	FONDOS DE LA DESTILACION	RP17 2002
17.3	PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DE ORTOXILENO	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17 3001
		(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17 3002
17.4	PRODUCCION DE ANHIDRIDO MALEICO	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION	RP17 4001
17.5	PRODUCCION DE ANILINA	(T)	FONDOS DE DESTILACION	RP17.501
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCION DEL PRODUCTO	RP17 502
17.6	PRODUCCION DE CLOROBENCENOS	(T)	FONDOS DE DESTILACION O DE LA COLUMNA FRACCIONADORA.	RP17.601
		(T)	CORRIENTES ACUOSAS DE LA ETAPA DEL LAVADO DEL REACTOR DE PRODUCTO	RP17 602
17.7	PRODUCCION DE CLORURO DE BENCILO	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.701
17.8	PRODUCCION DEL CLORURO DE ETILO	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA FRACCIONADORA.	RP17 801
17.9	PRODUCCION DE DIBROMURO DE ETILENO VIA BROMACION DEL ETENO	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADOR DE GASES DEL VENTEO DEL REACTOR	RP17 901
		(T)	ABSORBENTES SOLIDOS GASTADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17 902
		(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17.903

17 10	PRODUCCION DEL DICLOROETILENO	(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.1001
17 11	PRODUCCION DE DIISOCIANATO DE TOLUENO.	(R,T)	RESIDUOS DE CENTRIFUGACION Y DESTILACION	RP17.1101
17 12	PRODUCCION DE DIISOCIANATO DE TOLUENO VIA FOSGENACION DE LA TOLUENDIAMINA	(T)	CONDENSADOS ORGANICOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE SOLVENTES	RP17.1201
17 13	PRODUCCION DE 1,1- DIMETILHIDRACINA (OAHYA) PARTIR DE HIDRAZINAS DE ACIDO CARBOXILICO	(C,T)	FONDOS DE LA TORRE DE SEPARACION DE PRODUCTOS	RP17.1301
		(T,I)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE PRODUCTO Y GASES CONDENSADOS DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP17.1302
		(T)	CARTUCHOS DE LOS FILTROS AGOTADOS DE LA PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.1303
		(T)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE INTERMEDIOS	RP17.1304
17 14	PRODUCCION DE DINITROTOLUENO VIA NITRACION DE TOLUENO	(C,T)	AGUAS DE LAVADO DEL PRODUCTO	RP17.1401
17 15	PRODUCCION DE EPICLORHIDRINA	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION.	RP17.1501
17 16	PRODUCCION DE FENOL/ACETONA A PARTIR DEL CUMENO	(T)	FONDOS PESADOS (BREA) DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17.1601
17 17	PRODUCCION DE FLUOROMETANOS	(T)	RESIDUO DE CATALIZADOR AGOTADO DE ANTIMONIO EN SOLUCION ACUOSA.	RP17.1701
17 18	PRODUCCION DE ETIL METIL PIRIDINA	(T)	RESIDUOS DE LAS TORRES DE LAVADO DE GASES.	RP17.1801
17 19	PRODUCCION DE NITROBENCENO/ANILINA	(T)	CORRIENTES COMBINADAS DE AGUAS RESIDUALES	RP17.1901
17 20	PRODUCCION DE NITROBENCENO MEDIANTE LA NITRACION DEL BENCENO	(T)	FONDOS DE LA DESTILACION.	RP17.2001

	(T)	SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DEL REACTOR EN LA PRODUCCION DEL NITROBENCENO	17 2002
17 21 PRODUCCION DE TETRACLORURO DE CARBONO	(T)	FONDOS PESADOS O PRODUCTOS RESIDUALES DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17 2101
17 22 PRODUCCION DE TOLUENDIAMINA VIA HIDROGENACION DE DINITROTOLUENO	(T)	AGUA DE REACCION (SUBPRODUCTO) DE LA COLUMNA DE SECADO	RP17 2201
	(T)	PRODUCTOS LIQUIDOS TERMINALES LIGEROS CONDENSADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17 2202
	(T)	VECINALES DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17 2203
	(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO	RP17 2204
17 23 PRODUCCION DE 1,1,1-TRICLOROCETANO	(T)	CATALIZADORES AGOTADOS DEL REACTOR DE HIDROCLORACION	RP17 2301
	(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR DE PRODUCTO	RP17 2302
	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION	RP17 2303
	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PESADOS	RP17 2304
17 24 PRODUCCION COMBINADA DE TRICLOROETILENO Y PERCLO-ROETILENO	(T)	FONDOS O RESIDUOS PESADOS DE LAS TORRES	RP17 2401
18 TEXTILES			
18 1 PRODUCCION EN GENERAL	(T)	TAMBOS Y CONTENEDORES CON RESIDUOS DE TINTES Y COLORANTES	RP18 101
	(T)	LOCOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP18 102
	(T)	AGENTES MORDIENTES GASTADOS RESIDUALES	RP18 103
	(C,T)	RESIDUOS DE DETERGENTES, JABONES Y AGENTES DISPERSANTES	RP18 104
	(C)	RESIDUOS ACIDOS O ALCALINOS	RP18 105
	(C,T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL BANGUEADO	RP18 106
	(T)	RESIDUOS DE ADHESIVOS Y POLIMEROS	RP18 107
	(T)	RESIDUOS DE AGENTES ENLAZANTES Y DE CARBONIZACION	RP18 108

## ANEXO 3

## TABLA 2

## CLASIFICACION DE RESIDUOS POR FUENTE NO ESPECIFICA.

NO DE FUENTE	CLAVE	RESIDUO PELIGROSO	NO INE
	CRETIB		
1		FUENTES DIVERSAS Y NO ESPECIFICAS	
1 1	(T)	ENVASES Y TAMBOS VACIOS USADOS EN EL MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS	RPNE1 1/01
	(T)	Lodos de desecho del tratamiento biologico de aguas residuales que contenga cualquier substancia toxica al ambiente en concentraciones mayores a los limites señalados en el articulo 55 de esta norma.	RPNE1 1/02
	(T.1)	ACEITES LUBRICANTES GASTADOS	RPNE1 1/03
	(T)	RESIDUOS DE BIFENILOS POLICLORADOS O DE CUALQUIER OTRO MATERIAL QUE LOS CONTENGA EN CONCENTRACION MAYOR DE 50 PPM	RPNE1 1/04
	(T)	RESIDUOS DE EL MANEJO DE LA FIBRA DE ASBESTO PURO INCLUYENDO POLVO FIBRAS Y PRODUCTOS FACILMENTE DESMENUZABLES CON LA PRESION DE LA MANO (TODOS LOS RESIDUOS QUE CONTENGAN ASBESTO EL CUAL NO ESTE SUMERGIDO O FIJO EN UN AGLUTINANTE NATURAL O ARTIFICIAL)	RPNE1 1/05
	(T)	TODAS LAS BOLSAS QUE HAYAN TENIDO CONTACTO CON LA FIBRA DE ASBESTO. ASI COMO LOS MATERIALES FILTRANTES PROVENIENTES DE LOS EQUIPOS DE CONTROL COMO SON LOS FILTROS, MANGAS, RESPIRADORES PERSONALES Y OTROS, QUE NO HAYAN RECIBIDO UN TRATAMIENTO PARA ATRAPAR LA FIBRA EN UN AGLUTINANTE NATURAL O ARTIFICIAL.	RPNE1 1/06

- |       |  |            |
|-------|--|------------|
| (T)   | <p>           TODOS LOS RESIDUOS<br/>           PROVENIENTES DE LOS<br/>           PROCESOS DE MANUFACTURA<br/>           CUYA MATERIA PRIMA SEA EL<br/>           ASBESTO Y LA FIBRA SE<br/>           ENCUENTRE EN FORMA LIBRE,<br/>           POLVO O FACILMENTE<br/>           DESMENUZABLE CON LA<br/>           PRESION DE LA MANO         </p>  | RPNE1.1/07 |
| (T)   | <p>           LOS SIGUIENTES SOLVENTES<br/>           HALOGENADOS GASTADOS EN<br/>           OPERACIONES DE<br/>           DESENGRASADO:<br/>           TETRACLOROETILENO,<br/>           TRICLOROETILENO, CLORURO<br/>           DE METILENO, 1,1,1-<br/>           TRICLOROETANO,<br/>           TETRACLORURO DE CARBONO,<br/> <br/>           FLUOROCARBONOS CLORADOS<br/>           Y LOS SEDIMENTOS O COLAS<br/>           DE LA RECUPERACION DE<br/>           ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS<br/>           DE SOLVENTES GASTADOS         </p>   | RPNE1.1/08 |
| (T)   | <p>           LOS SIGUIENTES SOLVENTES<br/>           HALOGENADOS GASTADOS<br/>           USADOS EN OTRAS<br/>           OPERACIONES QUE NO SEA EL<br/>           DESENGRASADO: TETRA-<br/>           CLOROETILENO, CLORURO DE<br/>           METILENO, TRICLOROETILENO,<br/>           1,1,1-TRICLOROETANO, CLORO-<br/>           BENCENO, 1,1,2-TRICLORO-<br/>           1,2-TRIFLUORETANO, O-<br/>           DICLOROBENCENO, TRICLORO-<br/>           FLUOROMETANO Y 1,1,2-<br/>           TRICLOROETANO, Y LOS<br/>           SEDIMENTOS O COLAS DE LA<br/>           RECUPERACION DE ESTOS<br/>           SOLVENTES Y MEZCLAS DE<br/>           SOLVENTES GASTADOS         </p> | RPNE1.1/09 |
| (T.1) | <p>           LOS SIGUIENTES SOLVENTES<br/>           GASTADOS NO HALOGENADOS:<br/>           XILENO, ACETONA, ACETATO DE<br/>           ETILO, ETILBENCENO, ETER<br/>           ETILICO, ISOBUTIL METIL<br/>           CETONA, ALCOHOL N-BUTILICO,<br/>           CICLOHEXANONA Y METANOL Y<br/>           LOS SEDIMENTOS O COLAS DE<br/>           LA RECUPERACION DE ESTOS<br/>           SOLVENTES Y MEZCLAS DE<br/>           SOLVENTES GASTADOS.         </p>  | RPNE1.1/10 |

		(I,T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES GASTADOS NO HALOGENADOS. TOLUENO, ETIL METIL CETONA, DISULFURO DE CARBONO, ISOBUTANOL, PIRIDINA, BENCENO, 2-ETOXIETANOL, 2-NITROPROPANO Y LOS SEDIMENTOS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/11
		(E,T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES GASTADOS NO HALOGENADOS. CRESOLES, ACIDO CRESILICO, NITROBENCENO Y LOS SEDIMENTOS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/12
		(T)	RESIDUOS DEL TRI-TETRA-, O PENTA-CLOROFENOL PROVENIENTES DE SU PRODUCCION O DE SU USO COMO REACTANTE, PRODUCTO INTERMEDIO O COMPONENTE DE UNA FORMULACION	RPNE1.1/13
		(T)	RESIDUOS DE TETRA-PENTA-, O HEXACLOROBENCENO PROVENIENTES DE SU USO COMO REACTANTE, PRODUCTO INTERMEDIO O COMPONENTE DE UNA FORMULACION, BAJO CONDICIONES ALCALINAS.	RPNE1.1/14
1.2	RESIDUOS PROVENIENTES DE HOSPITALES, LABORATORIOS Y CONSULTORIOS MEDICOS.	(B)	RESIDUOS DE SANGRE HUMANA.	RPNE1.2/01
		(B)	RESIDUO DE CULTIVO Y CEPAS DE AGENTES INFECCIOSOS.	RPNE1.2/02
		(B)	RESIDUOS PATOLOGICOS.	RPNE1.2/03
		(B)	RESIDUOS NO ANATOMICOS DE UNIDADES DE PACIENTES.	RPNE1.2/04
		(B)	RESIDUOS DE OBJETOS PUNZOCORTANTES USADOS.	RPNE1.2/05
		(B)	RESIDUOS INFECCIOSOS MISCELANEOS COMO MATERIALES DE CURACION Y ALIMENTOS DE ENFERMOS CONTAGIOSOS.	RPNE1.2/06

## ANEXO 4

## TABLA 3.

## CLASIFICACION DE RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS QUE SE CONSIDERAN PELIGROSAS EN LA PRODUCCION DE PINTURAS.

Nº DE GIRO	MATERIA PRIMA	CLAVE CRET:B	RESIDUO PELIGROSO	Nº INE
1	ACEÍTES MINERALES ACIDOS, MONOMEROS Y ANHIDRIDOS			
1 1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	ACEÍTES AROMATICOS	RPP1.1/01
		(T)	ACEÍTES NAFTENICOS	RPP1.1/02
		(T,I)	ACIDO ACETICO	RPP1.1/03
		(T,I)	ACIDO CLORHIDRICO	RPP1.1/04
		(I)	ACIDO FUMARICO	RPP1.1/05
		(I)	ACIDO ISOFALICO	RPP1.1/06
		(I)	ACIDO ISONONANICO	RPP1.1/07
		(T)	ACIDO OXALICO	RPP1.1/08
		(I)	ANHIDRIDO FTALICO	RPP1.1/09
		(I)	ANHIDRIDO MALEICO	RPP1.1/10
		(I)	ANHIDRIDO TRIMETILICO	RPP1.1/11
		(I)	MONOMERO DE ACRILATO DE ETILO	RPP1.1/12
		(T)	MONOMERO DE METACRILATO DE ETILO	RPP1.1/13
		(I)	MONOMERO DE METACRILATO DE ISOBUTILO	RPP1.1/14
2	PEROXIDOS, PLASTIFICANTES, PULQUES Y VARIOS			
2 1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	HIDROXIDO DE AMONIO	RPP2.1/01
		(T)	PEROXIDO DE LAURILO	RPP2.1/02
		(T)	FTALATO DE BUTIL BENCILO	RPP2.1/03
		(I)	PENTAERITRITOL	RPP2.1/04
		(I)	PROPILENGLICOL	RPP2.1/05
		(I)	TRIMETILOLETANO	RPP2.1/06
		(I)	TRIMETILOLPROPANO	RPP2.1/07
		(T,I)	FORMALDEHIDO	RPP2.1/08
		(R)	PARAFORMALDEHIDO	RPP2.1/09
		(R)	SILICATOS DE ETILO	RPP2.1/10
3	PIGMENTOS			
3 1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	AMARILLO NAFTOL	RPP3.1/01
		(T)	AZUL FTALOCIANINA	RPP3.1/02
		(T)	AZUL VICTORIA COLORANTE	RPP3.1/03

	(T)	NARANJA 29-19 PRAZOLONA	RPP3.1/04
	(T)	VIOLETA DE CARBAZOL	RPP3.1/05
	(T)	AMARILLO CROMO	RPP3.1/06
	(T)	ROJO MOLIBDATO	RPP3.1/07
	(T)	NARANJA CROMO 25	RPP3.1/08
	(T)	NARANJA MOLIBDATO	RPP3.1/09
<b>4</b>		<b>RESINAS</b>	
<b>4.1</b>		<b>DISPERSIONES Y MICRODISPERSIONES EN AGLA</b>	
	(T)	RESINA DE TOLUENO DIISOCIANATO	RPP4.1/01
<b>4.2</b>		<b>SINTETICAS EN SOLUCION DE SOLVENTES</b>	
	(I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE LARGA	RPP4.2/01
	(T,I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE MEDIO	RPP4.2/02
	(T)	EPOXICAS	RPP4.2/03
	(I)	FENOLICAS EN SOLUCION	RPP4.2/04
	(I)	FUMARICAS	RPP4.2/05
	(T)	HEMATOXI METIL MELAMINA	RPP4.2/06
	(T)	MALEICAS	RPP4.2/07
	(T)	POLIESTER	RPP4.2/08
	(R)	SILICON ALQUIDAL	RPP4.2/09
	(R)	SILICONES	RPP4.2/10
	(T)	URETANOS	RPP4.2/11
<b>4.3</b>		<b>SOLIDAS</b>	
	(R)	NITROCELULOSA	RPP4.3/01
<b>4.4</b>		<b>SINTETICAS</b>	
	(T)	POLIESTERES	RPP4.4/02
	(T,I)	FENOLICAS MODIFICADAS Y EN SOLUCION	RPP4.4/03
<b>5</b>		<b>SOLVENTES</b>	
<b>5.1</b>		<b>PRODUCCION EN GENERAL</b>	
	(I)	ACETATO DE BUTIL CARBITOL	RPP5.1/01
	(I)	ACETATO DE BUTIL CELLOSOLVE	RPP5.1/02
	(I)	ACETATO DE CARBITOL	RPP5.1/03
	(I)	ACETATO DE CELLOSOLVE	RPP5.1/04
	(I)	ACETATO DE METIL CELLOSOLVE	RPP5.1/05
	(I)	ACETONA	RPP5.1/06
	(I)	ALCOHOL DIACETONA	RPP5.1/07
	(I)	ALCOHOL ETILICO	RPP5.1/08
	(I)	ALCOHOL ISOBUTILICO	RPP5.1/09
	(I)	ALCOHOL POLIVINILICO	RPP5.1/10
	(I)	AROMINA 100	RPP5.1/11
	(I)	AROMINA 150	RPP5.1/12
	(I)	BUTANOL	RPP5.1/13
	(I)	CICLOHEXANONA	RPP5.1/14
	(T)	CLORURO DE METILENO	RPP5.1/15

(I)	ETER METILICO DEL ETILENGLICOL	RPPS. 1/16
(I)	ETER MONOBUTILICO DEL DIETILENGLICOL	RPPS. 1/17
(T,I)	ETER MONOETILICO DEL ETILENGLICOL	RPPS. 1/18
(T,I)	ETER MONOPROPIICO DEL ETILENGLICOL	RPPS. 1/19
(I)	2-ETIL-HEXIL ALCOHOL	RPPS. 1/20
(I)	GAS NAFTA	RPPS. 1/21
(I)	GAS SOLVENTE	RPPS. 1/22
(T,I)	ISOFURONA	RPPS. 1/23
(T,I)	METIL ISOBUTIL CETONA	RPPS. 1/24
(I)	2-NITROPROPANO	RPPS. 1/25
(I)	VMP NAFTA	RPPS. 1/26
(I)	HEPTANO	RPPS. 1/27
(I)	HEXANO	RPPS. 1/28
(I)	ISOPROPANOL	RPPS. 1/29
(I)	METANOL	RPPS. 1/30

TABLA 4

**CLASIFICACION DE RESIDUOS Y BOLSAS O ENVASES DE MATERIAS PRIMAS QUE SE  
CONSIDERAN PELIGROSAS EN LA PRODUCCION DE PINTURAS.**

No.DE GIRO	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS Y BOLSAS O ENVASES	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No.INE
1	ACIDOS, ANHIDRIDOS, MONOMEROS Y PEROXIDOS			
11	PRODUCCION GENERAL	(I)	ACIDO ACRILICO	RPE1.1/01
		(I)	ACIDO AZELAICO	RPE1.1/02
		(I)	ACIDO DIMETIL PROPIONICO	RPE1.1/03
		(I)	ACIDO ETIL 2-HEXOICO	RPE1.1/04
		(I)	ACIDO PARA-TOLUEN SULFONICO	RPE1.1/05
		(I)	ACIDO SEBASICO	RPE1.1/06
		(T,I)	ACIDO SULFONICO AROMATICO	RPE1.1/07
		(T)	ACIDO SULFURICO	RPE1.1/08
		(I)	ACIDO TEREFALICO	RPE1.1/09
		(I)	ANHIDRIDO METACRILICO	RPE1.1/10
		(I)	ANHIDRIDO SUCCINICO	RPE1.1/11
		(I)	ACETATO DE VINILO	RPE1.1/12
		(I)	ACRILATO DE BUTILO	RPE1.1/13
		(I)	ACRILATO DE METILO	RPE1.1/14
		(I)	ESTIRENO	RPE1.1/15
		(I)	METACRILATO DE BUTILO	RPE1.1/16
		(I)	METACRILATO DE METILO	RPE1.1/17
		(T)	HIDROPEROXIDO DE CUMENO	RPE1.1/18

	(T)	PEROXIDO DE DISISOBUTRONITRILLO	AZO-	RPE1.1/19
	(I,R)	PEROXIDO DE BENZOILO		RPE1.1/20
	(I,R)	PEROXIDO DE CICLOHEXANONA		RPE1.1/21
	(T)	PEROXIDO DE OTERBUTILO		RPE1.1/22
	(T,R)	PEROXIDO DE METIL ETIL CETONA		RPE1.1/23
	(T,R)	PEROXIDO DE TERBUTIL BENZOATO	PER	RPE1.1/24
	(T,R)	PEROXI-2-ETIL TERBUTILO	DE	RPE1.1/25
2	SECANTES, PIGMENTOS Y VARIOS			
2.1	PRODUCCION EN GENERAL			
	(T,I)	NAFTENATO DE COBALTO		RPE2.1/01
	(T)	NAFTENATO DE PLOMO		RPE2.1/02
	(T,I)	ALCANOATO DE COBALTO		RPE2.1/03
	(T)	ALCANOATO DE PLOMO		RPE2.1/04
	(T,I)	NEODECANATO DE COBALTO		RPE2.1/05
	(T)	NEODECANATO DE PLOMO		RPE2.1/06
	(T,I)	OCTOATO DE COBALTO		RPE2.1/07
	(T)	OCTOATO DE PLOMO		RPE2.1/08
	(T)	ALBAYALDE		RPE2.1/09
	(T)	AMONIACO		RPE2.1/10
	(T)	ANTIESPUMANTE ORGANICO FOAMICIDE B-18		RPE2.1/11
	(T)	DIBUTILAMINA		RPE2.1/12
	(T,I)	DIETILENGLICOL		RPE2.1/13
	(T,I)	DIETILENTRIAMINA		RPE2.1/14
	(T,I)	TIMETIL ETIL AMINA		RPE2.1/15
	(T,I)	ETIL METIL CETOXIMA		RPE2.1/16
	(T)	HIDROQUINONA		RPE2.1/17
	(R)	HIDROXIDO DE SODIO		RPE2.1/18
	(T)	LITARGIRIO		RPE2.1/19
	(T)	MINIO		RPE2.1/20
	(R)	NITRITO DE SODIO		RPE2.1/21
	(T)	OXIDO DE MERCURIO		RPE2.1/22
	(T)	OXIMAS		RPE2.1/23
	(T)	PLOMO		RPE2.1/24
	(T)	SALES DE MERCURIO FUNGICIDA) POLA CIDA	(BIOCIDA-	RPE2.1/25
	(T,I)	TRITILAMINA		RPE2.1/26
	(T,I)	TRITILENTE TRAAMINA		RPE2.1/27
	(T)	TRIFENIL FOSFITO		RPE2.1/28
	(T)	SULFATO DE PLOMO		RPE2.1/29

	(T)	AMARILLO CADMIO	RPE2 1/30
	(T)	AMARILLO URAMINA	RPE2 1/31
	(T)	NARANJA BENICIDINA	RPE2 1/32
	(T)	ROJO CADMIO	RPE2 1/33
	(T)	VERDE CROMO 25	RPE2 1/34
<b>3</b>		<b>RESINAS</b>	
<b>3.1</b>		<b>SINTETICAS EN SOLUCION DE SOLVENTES</b>	
	(T,I)	ACRILICAS EN SOLUCION	RPE3 1/01
	(T,I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE CORTA	RPE3 1/02
	(I)	FENOL-FORMALDEHIDO	RPE3 1/03
	(I)	FORMALDEHIDO TIPO TRIACINA	RPE3 1/04
	(T,R)	ISOCIANATOS	RPE3 1/05
	(I)	MELAMINA FORMALDEHIDO	RPE3 1/06
	(I)	UREA FORMALDEHIDO	RPE3 1/07
<b>4</b>		<b>SOLVENTES</b>	
<b>4.1</b>		<b>PRODUCCION EN GENERAL</b>	
	(I)	ACETATO DE AMILO	RPE4 1/81
	(I)	ACETATO DE BUTILO	RPE4 1/82
	(I)	ACETATO DE ETILO	RPE4 1/03
	(I)	ACETATO DE ISOAMILO	RPE4 1/04
	(I)	ACETATO DE ISOPROPILO	RPE4 1/05
	(I)	ACETATO DE METILO	RPE4 1/06
	(I)	AGUARRAS	RPE4 1/07
	(T,I)	BUTIL CELLOSOLVE	RPE4 1/08
	(I)	CICLOHEXANO	RPE4 1/09
	(I)	DIETIL CETONA	RPE4 1/10
	(I)	ETER METILICO DEL PROPILLEN GLICOL	RPE4 1/11
	(I)	GASOLINA INCOLORA	RPE4 1/12
	(I)	METIL ETIL CETONA	RPE4 1/13
	(T,I)	METIL ISOAMIL CETONA	RPE4 1/14
	(T,I)	METIL ISOBUTIL CARBINOL	RPE4 1/15
	(T,I)	TOLUENO	RPE4 1/16
	(T,I)	XILENO	RPE4 1/17
<b>5</b>		<b>RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCION</b>	
<b>6</b>		<b>RESIDUOS DEL LAVADO CON SOLVENTES</b>	
<b>7</b>		<b>LADOS DE DESTILACION DE SOLVENTES</b>	
<b>8</b>		<b>RESIDUOS DEL EQUIPO ANTICONTAMINANTE</b>	
<b>9</b>		<b>LADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	
<b>10</b>		<b>LADOS DE LIMPIEZA DE GASES EN EQUIPO DE CONTROL</b>	

## ANEXO 5

## TABLA 5

CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO (PECT) QUE HACEN PELIGROSO  
A UN RESIDUO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE

NO. DE INE	CONSTITUYENTES INORGANICOS	CONCENTRACION PERMITIDA (mg/l)	MAXIMA
C 1 01	ARSENICO	5 0	
C 1 02	BARIO	100 00	
C 1 03	CADMIO	1 0	
C 1 04	CROMO HEXAVALENTE	5 0	
C 1 05	NIQUEL	5 0	
C 1 06	MERCURIO	0 2	
C 1 07	PLATA	5 0	
C 1 08	PLOMO	5 0	
C 1 09	SELENIO	1 0	

## TABLA 6

NO. DE INE	CONSTITUYENTES ORGANICOS	CONCENTRACION PERMITIDA (mg/l)	MAXIMA
C 0 01	ACRILONITRILLO	5 0	
C 0 02	CLORDANO	0 03	
C 0 03	o-CRESOL	200 0	
C 0 04	m-CRESOL	200 0	
C 0 05	p-CRESOL	200 0	
C 0 06	ACIDO 2,4-DICLOROFENOXIACETICO	10 0	
C 0 07	2,4-DINITROTOLUENO	0 13	
C 0 08	ENDRIN	0 02	
C 0 09	HEPTACLORO (Y SU EPOXIDO)	0 008	
C 0 010	HEXACLOROETANO	3 0	
C 0 011	LINDANO	0 4	
C 0 012	METOXICLORO	10 0	
C 0 013	NITROBENCENO	2 0	
C 0 014	PENTAFLOROFENOL	100 0	
C 0 015	2,3,4,6-TETRAFLOROFENOL	1 5	
C 0 016	TOXAFENO (CANFENOCLORADO TECNICO)	0 5	
C 0 017	2,4,5-TRICLOROFENOL	400 0	
C 0 018	2,4,6-TRICLOROFENOL	2 0	
C 0 019	ACIDO 2,4,5-TRICLORO FENOXIPROPIONICO (SILVEX)	1 0	

TABLA 7

No. DE INE	CONSTITUYENTE ORGANICO VOLATIL	CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA (mg/l)
C V 01	BENCENO	0.5
C V 02	ETER BIS (2-CLORO ETILICO)	0.05
C V 03	CLOROBENCENO	100.0
C V 04	CLOROFORMO	5.0
C V 05	CLORURO DE METILENO	8.6
C V 06	CLORURO DE VINILO	0.2
C V 07	1,2-DICLOROBENCENO	4.3
C V 08	1,4-DICLOROBENCENO	7.5
C V 09	1,2-DICLOROETANO	0.5
C V 010	1,1-DICLOROETILENO	0.7
C V 011	DISULFURO DE CARBONO	14.4
C V 012	FENOL	14.4
C V 013	HEXACLOROBENCENO	0.13
C V 014	HEXACLORO-1,3-BUTADIENO	0.5
C V 015	ISOBUTANOL	36.0
C V 016	ETILMETILCETONA	200.0
C V 017	PIRIDINA	5.0
C V 018	1,1,1,2-TETRACLOROETANO	10.0
C V 019	1,1,2,2-TETRACLOROETANO	1.3
C V 020	TETRACLORURO DE CARBONO	0.5
C V 021	TETRACLOROETILENO	0.7
C V 022	TOLUENO	14.4
C V 023	1,1,1-TRICLOROETANO	30.0
C V 024	1,1,2-TRICLOROETANO	1.2
C V 025	TRICLOROETILENO	0.5