

29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"**

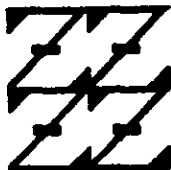
IMPLEMENTACION DE UN PROCESO PARA LA ESTABILIZACION DE UN RESIDUO PELIGROSO

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :**

JUAN ALEJANDRO GARCIA FERNANDEZ

**U N A M
F E S
Z A R A G O Z A**



**LO HUBIERON QUE
DE NUESTRA COLECCION**

MEXICO, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

262456



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
JEFATURA DE INGENIERIA QUIMICA
OFICIO: 082/004/97

C. Juan Alejandro García Fernández
Presente

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

Presidente: *I.Q. Alejandro Rogel Ramírez*
Vocal: *QFB. Landy Ramírez Burgos*
Secretario: *I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández*
Suplente: *I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo*
Suplente: *I.Q. Gabriel Cruz Zepeda*

A T E N T A M E N T E
"LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION"
México, D.F., 23 de Enero de 1998

I.Q. Magín Enrique Juárez Villar
Jefe de la Carrera

Irm

*A mis padres Juan y Martha, por todo el amor, comprensión y apoyo
que he recibido de ellos.*

*A mis hermanos Nancy, Jorge y Miguel, por estar conmigo compartiendo
todos los momentos importantes de mi vida*

*A mis sobrinos Aldahir y Dayana así como a mi cuñado Antonio por ser
parte importante de este logro*

A Martha por su afecto, cariño, entusiasmo y calidad profesional

*A la Dra. Carmen Durán de Bazúa, mi reconocimiento y agradecimiento
por su valioso apoyo para la elaboración del presente trabajo.*

*A Landy por brindarme su amistad así como por el invaluable
asesoramiento para este proyecto dando muestra de su gran
profesionalismo*

A la memoria de Silvia, quien siempre estará en mi pensamiento

*A toda la familia Fernández por su apoyo y aprecio; que este pequeño
logro sirva de estímulo para alcanzar grandes metas*

a la Familia Martínez Mérales por todo el cariño que me han brindado

A todos mis compañeros y amigos de Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental.

A todos mis amigos por brindarme su amistad incondicional

Mi reconocimiento a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Mi agradecimiento eterno a la Universidad Nacional Autónoma de México

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- GENERALIDADES.....	3
2.1.- DEFINICIÓN DE RESIDUO PELIGROSO.....	3
2.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.....	4
2.3.- CÓDIGO CRETIB.....	4
2.4.- FUENTES DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	8
2.4.1.- GRUPOS INDUSTRIALES Y DE SERVICIO GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	9
2.5.- PRODUCCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO.....	12
2.5.1.- EXTRACCIÓN MINERAL.....	12
2.5.2.- INDUSTRIA QUÍMICA.....	12
2.5.3.- ACTIVIDAD AGRÍCOLA.....	14
2.6.- LEGISLACIÓN.....	16
2.7.- RESIDUOS PELIGROSOS EN EL AMBIENTE Y SU EFECTO EN LA SALUD HUMANA.....	18
3.- PROBLEMÁTICA.....	20
3.1.- PROBLEMÁTICA EN ESTUDIO.....	21
3.2.- OBJETIVOS.....	23
3.3.- ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN.....	23
4.- FUNDAMENTO TEÓRICO.....	25
4.1.- GENERALIDADES DEL CROMO, MERCURIO Y PLATA.....	25
4.1.1.- CROMO.....	25
4.1.2.- MERCURIO.....	27
4.1.3.- PLATA.....	29
4.2.- TRATAMIENTOS DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	31
4.2.1.- PROCESOS FÍSICOS.....	31
4.2.2.- PROCESOS BIOLÓGICOS.....	33
4.2.3.- PROCESOS TÉRMICOS.....	33
4.2.4.- PROCESOS QUÍMICOS.....	34
4.2.4.1.- PRECIPITACIÓN QUÍMICA.....	35
4.2.4.2.- OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN QUÍMICA.....	37
5.- METODOLOGÍA Y RESULTADOS.....	39
5.1.- CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.....	39
5.2.- DESARROLLO DE UN PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.....	40
5.3.- PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.....	41
5.4.- RESULTADOS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.....	45

5.5.- PORCIENTO DE SEPARACIÓN.....	46
6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
7.- CONCLUSIONES.....	49
8.-RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (SIN CITA EN EL TEXTO).....	53
ANEXO A.....	56
ANEXO B.....	57
ANEXO C.....	62
ANEXO D.....	72

RESUMEN

El tema de los residuos peligrosos, su minimización y control, es de creciente importancia a la luz de la necesidad que existe por la protección del ambiente.

Como una contribución para la UNAM, en la búsqueda de soluciones a problemas ambientales, se creó el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA). En este programa se realizan diferentes investigaciones las cuales requieren de diversas mediciones de distintos parámetros, siendo uno de ellos la demanda química de oxígeno, (DQO), utilizada para medir la calidad del agua.

Lamentablemente, después de realizada la medición del parámetro DQO, la mezcla resultante se convierte en un residuo. Analizando este residuo, se observó que contenía altas concentraciones de metales pesados como son Hg(I), Hg(II), Cr(III), Cr(VI) y Ag(I), las cuales excedían los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad mexicana, por lo que se considera un residuo líquido peligroso, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.

Caracterizado el residuo como peligroso, se desarrolló una metodología analítica que lo estabilizara y eliminara su carácter de peligrosidad. La nueva problemática a la cual se enfrentó, era la acumulación de un volumen considerable de residuo (200L/mes), el cual era superior al que podía ser tratado en el laboratorio del PIQAYQA.

Con la responsabilidad de controlar y disminuir el volumen acumulado y el riesgo que esto representa, así como evitar mayor acumulación de residuo, se implementó un sistema a nivel de planta piloto, desarrollado en el Laboratorio de Ingeniería Química en la Facultad de química de la UNAM, así como en el laboratorio del PIQAYQA. El proceso consistió de tres etapas principales: en la primera etapa se realizó la precipitación de Ag(I) y Hg(I), como cloruros. En la segunda etapa se realizó la reducción de Cr(VI) a Cr(III), mediante una reacción con sulfato ferroso amoniacal. En la tercer etapa se precipitaron los metales Hg(II) y Cr(III) adicionando NaOH. Obteniéndose al final de la aplicación del proceso rendimiento aceptable en cuanto a la separación de los metales (98% en promedio).

1. INTRODUCCIÓN

La vida del hombre sobre la tierra siempre ha estado ligada al ambiente en que ha vivido. Baste imaginarse por un instante las condiciones de vida de los primeros homínidos sobre el planeta y el sometimiento de su existencia a condiciones climáticas extremas, a fenómenos naturales de gran intensidad como terremotos y erupciones volcánicas, que además de posible daño físico deben haber sido aterradoras por la incompreensión de su naturaleza; a la agresión de animales salvajes y a otros peligros fáciles de imaginar.

Durante milenios el ser humano ha trabajado incesantemente para modificar esas condiciones adversas del medio que le rodea, en forma tal de hacerlas apropiadas para su vida en el planeta tierra.

Ahora, como una increíble paradoja, algunos de los logros realizados con base en un gran desarrollo científico y tecnológico -con la intención siempre de mejorar sus condiciones de vida-, se presentan como una amenaza no solo para la supervivencia misma de la especie humana, de la flora o la fauna sino como una amenaza para el planeta, o por lo menos como factores importantes que producen daño a cualquier forma de vida, cuyos efectos a largo plazo aún se desconocen. Los seres vivos se encuentra amenazada si no se es capaz de controlar las modificaciones al ambiente (Rivero, 1992).

En las condiciones actuales, en que la infición del ambiente no va a cambiar pronto, es imprescindible que la legislación que impide este deterioro se actualice día con día, pero aún más importante es que se cumpla para proteger a los ecosistemas y, entre las poblaciones que los forman, al ser humano.

Ante el problema del daño por diversas modificaciones al ambiente, hay dos soluciones que pueden ayudar de gran manera, si no eliminándolo totalmente, sí evitando que continúe creciendo: la concientización y la educación. Con base en éstas se podrá conservar la biodiversidad de los ecosistemas, se podrá estudiar el impacto ambiental, se evitará contaminar el agua, se usará solo la energía indispensable, se utilizará el transporte personal o público en forma adecuada evitando bloqueos, se manejarán todos los desechos que se producen en todos los sectores en la forma adecuada, etc.

En estas circunstancias lo único que puede controlar el problema es entender todos que el esfuerzo individual o corporativo, evitando o controlando cualquier forma de agresión al ambiente; es, en este momento, la única solución práctica para evitar el deterioro ambiental y su repercusión en el ser humano.

2. GENERALIDADES

2.1. DEFINICIÓN DE RESIDUO PELIGROSO

Se sabe que, un residuo es todo aquello cuyo propietario no considera utilizable y que, en ocasiones, almacena esperando obtener de él un beneficio económico futuro o bien que desecha o intenta desechar de una manera eficiente. Sin embargo, estrictamente hablando, la definición de residuo que establece la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 1997) es la siguiente:

“Un residuo es cualquier material generado por los procesos de extracción, beneficio, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permite usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.”

Como consecuencia de un desconocimiento en el manejo apropiado de los residuos no solo se ha afectado al aire o a las aguas superficiales y subterráneas, sino que ha existido repercusión sobre el suelo y a su vez, se ha visto afectada la salud humana, así como la de los animales que, de algún modo, están en contacto directo o indirecto con el residuo. A estos residuos se les denomina *residuos peligrosos* (Simmons, 1982).

Hasta hace algunos años los residuos peligrosos eran tratados en forma similar a la basura doméstica. La disposición en el suelo era el método principal para manejar este tipo de residuos.

Históricamente, poco se había realizado en el control de residuos peligrosos, las industrias no le daban la debida atención o importancia a los impactos potenciales sobre el ambiente producidos por estos residuos. El manejo y transporte de éstos, se realizaba sin las medidas necesarias de seguridad e higiene.

Afortunadamente, en nuestro país, se ha logrado visualizar el problema que estos residuos representan y se ha trabajado para implementar normas y restricciones legales que ayuden a detener y controlar esta gran problemática. Estos ordenamientos se analizarán posteriormente. Se pretende conocer la magnitud del problema en materia de residuos peligrosos, con el objeto de desarrollar medidas específicas para el control y solución de éste. Una manera de conocer esta magnitud, es llevar un registro de los residuos producidos, su volumen y su posible riesgo. Para ello se requiere una definición de residuo peligroso. La legislación mexicana establece la siguiente definición:

“Los residuos peligrosos son todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas-infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”.

Habiendo identificado lo que es un residuo peligroso, se pueden implementar las medidas necesarias de seguridad e higiene para su manejo, contribuyendo con esto, a la *disminución de los riesgos provocados por estos residuos*.

Dichas medidas serán aplicables en operaciones normales durante las diferentes etapas que deben seguir los residuos peligrosos desde su generación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, así como en trabajos de limpieza y descontaminación de sitios que los contengan.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

El tema de los residuos peligrosos es algo de creciente importancia a la luz de las necesidades sobre protección ambiental. De hecho, es tema obligado entre política industrial y conservación del ambiente. Abordar la problemática de los residuos peligrosos significa examinar a fondo procesos, tecnologías, insumos, diseño y técnicas en todos y cada uno de los diferentes giros que producen estos residuos (Armendáriz, 1997).

Es claro que para obtener un producto final, mediante procesos que básicamente separan, transforman y/o purifican, se presentan salidas intermedias en forma de residuos, los cuales pueden poseer ciertas características que los hacen peligrosos dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, presión de vapor, punto de ebullición, etc), las cuales pueden verse incrementadas por su manejo inadecuado en las etapas de almacenamiento.

Para establecer y seleccionar los criterios normativos en la peligrosidad de un residuo, la normatividad mexicana se apoyo en las propiedades anteriormente mencionadas, dando paso a lo que ahora se conoce como código CRETIB.

2.3. CÓDIGO CRETIB

Los criterios normativos consideran que las características del residuo para su clasificación sean definidas por sus propiedades fisicoquímicas y que estas puedan ser medibles.

Así, los residuos pueden clasificarse por las siguientes características :

CORROSIVIDAD (C)
REACTIVIDAD (R)
EXPLOSIVIDAD (E)
TOXICIDAD AL AMBIENTE (T)
INFLAMABILIDAD (I)
BIOLÓGICO-INFECIOSAS (B)

CORROSIVIDAD

Con este nombre se designan las degradaciones que efectúa el residuo sobre un material que se encuentre en contacto con este, esto debido a las propiedades ácido-base de sus componentes. Después del contacto, un residuo corrosivo puede destruir los tejidos del cuerpo, metales, plásticos y otros materiales. Los resultados típicos de los residuos corrosivos en contacto con el organismo son: deshidratación (ácidos fuertes), y desnaturalización de las proteínas (álcalis fuertes) en la piel (Guzmán, 1996). La corrosividad de las álcalis y los ácidos es función del grado de disociación de estos en una disolución (forma iones hidroxilo e hidronio respectivamente).

La definición dada por la norma mexicana NOM-052-ECOL-93 es: "Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

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

Los residuos que contienen ácidos y álcalis son los residuos más comunes que se presentan en esta clasificación; entre ellos cabe destacar a las mezclas de ácidos como la sulfonítrica, crómica, agua regia, soluciones residuales de procesos electroquímicos, las soluciones alcalinas de lavado y del proceso de fabricación de papel y celulosa.

REACTIVIDAD

Un residuo reactivo es aquel capaz de experimentar una reacción peligrosa, bajo ciertas condiciones específicas. Los residuos pirofóricos son aquellos que reaccionan espontáneamente con el aire (y su humedad), causando su oxidación y/o hidrólisis encendiéndose rápidamente. Los residuos peroxidables son los que reaccionan con el aire pero más lentamente que los pirofóricos. Los residuos higroscópicos son aquellos que reaccionan con el agua, algunas veces liberan gases inflamables y/o tóxicos que pueden arder o explotar instantáneamente o pueden hacerlo más tarde (Guzmán, 1996).

La norma mexicana NOM-052-ECOL-93 señala: "Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a). Bajo condiciones normales (25°C y 1 atm), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.
- b). En condiciones normales (25°C y 1 atm) cuando se pone en contacto con agua en relación 5:1, 5:3, 5:5, reaccionan violentamente formando gases, vapores o humos.

c). Bajo condiciones normales cuando se pone 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.

d). 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 residuo de H₂S/kg. de residuo.

e). Es capaz de producir radicales libres.”

Los residuos como nitrocelulosa y la poliamida provenientes de la producción de resinas sintéticas son ejemplos de esta clasificación. Así también, los residuos que contienen cianuros ya sea en estado gaseoso o en solución acuosa, como iones libres disueltos, en forma de sales o en complejos inorgánicos; estos son generados principalmente en la industria de acabados de metales, en el tratamiento térmico de ciertos aceros y en la síntesis de productos químicos, como plaguicidas y polímeros.

EXPLOSIVIDAD

Un residuo explosivo produce una rápida transformación química generando grandes cantidades de energía: gases y calor, expandiéndose rápidamente a elevadas temperaturas y a una gran velocidad. Esto origina ondas de choque y destrucción.

Cuando se incrementa la cantidad de energía liberada y los componentes explosivos tienen uniones débiles, tales compuestos tienden a reaccionar incluso a relativamente bajas temperaturas y una vez que la reacción ha comenzado, se liberan grandes cantidades de energía produciéndose la explosión.

Las explosiones pueden ocurrir como resultado de la mezcla de diferentes residuos, por golpe, fricción o altas temperaturas (Guzmán, 1996).

Una gran explosión o detonación produce una rápida transformación química, y la expansión de gas origina una onda de choque que puede ser seguida por una combustión. La velocidad puede llegar a ser tal alta como de 600m/s.

La definición normativa (NOM-052-ECOL-93) dice que:

“Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

- a). Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenzeno
- b).-Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg/cm² de presión.”

Los ejemplos característicos de esta clasificación son los residuos provenientes de la manufactura de cerillos y productos pirotécnicos.

TOXICIDAD

Un residuo tóxico es aquel que puede causar daño a los seres vivos, ya sea como resultado directo o indirecto de su efecto contaminante. La toxicidad de un residuo depende principalmente de la capacidad inherente de las sustancias que lo contienen, para producir efectos adversos en el organismo (locales y sistémicos), en función de la cantidad (dosis) absorbida (por inhalación, ingestión o la piel) y del tiempo y grado de exposición (aguda y crónica).

Sí un residuo contiene una sustancia tóxica, el residuo será tóxico por esta misma sustancia pero su comportamiento general puede ser diferente que el de la sustancia pura (Guzmán, 1996).

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando aparezcan uno o más de los componentes que se enlistan en la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, (ANEXO A) y que presenten concentraciones iguales o mayores a los límites máximos permisibles.

Conocer los componentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad, puede resultar muy difícil. Normalmente se han hecho análisis y determinaciones para los que se consideran tóxicos de acuerdo a la normatividad; existiendo una gran cantidad de sustancias que se sabe son tóxicas, aunque no rebasen los límites máximos permisibles o no estén legisladas.

Esta clasificación de residuo se puede ejemplificar con un caso ocurrido en Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México, el 3 de septiembre de 1981 se presentó una intoxicación masiva, causada por desechos sólidos, de procedencia desconocida, que al ponerse en contacto con el agua produjeron vapores de ácido sulfúrico. La población expuesta fue de 200 persona. Algunos síntomas que se presentaron fueron : irritación en los ojos y de vías respiratorias superiores

INFLAMABILIDAD

Se le llama inflamabilidad a la capacidad de un residuo líquido o sólido para generar una concentración suficiente de vapores sobre su superficie, que en condiciones normales pueda producir fuego. El punto de inflamación es la temperatura mínima que necesita un líquido o un sólido para formar una mezcla inflamable. El "intervalo flamable" es el porcentaje de concentraciones vapor-aire entre los límites inferior y superior suficiente para que exista la inflamación. El término es una mala traducción del inglés pero, desafortunadamente, así se le conoce técnicamente. Las concentraciones menores al límite inferior no son inflamables debido a que existe poco vapor en la mezcla con el aire. A concentraciones mayores al límite superior la mezcla no es inflamable debido a que existe poco oxígeno (Guzmán, 1996). Cuando los líquidos o gases contenidos en recipientes cerrados son calentados por una fuente externa, se produce la presión

suficiente para romper las paredes del recipiente, originando así una explosión y el clásico hongo o balón de fuego.

En estos casos, los gases y vapores presentan un “intervalo explosivo”, el cual tiene los mismos límites que el “intervalo flamable”, pero se aplica cuando se desarrolla en espacios cerrados. Los residuos sólidos combustibles son aquellos con punto de inflamabilidad igual o mayor de 60°C. Aunque no se encienden tan fácilmente como los residuos líquidos inflamables, ya que estos pueden encenderse bajo ciertas circunstancias (temperatura y presión).

Los residuos sólidos presentan riesgos de combustión espontánea, por calor o fricción, así como aquellos que en contacto con el agua desprenden gases inflamables. Los residuos oxidantes pueden proporcionar condiciones para acelerar la inflamabilidad de otros residuos, incluso en ausencia de aire. Algunos requieren calor para liberar oxígeno, otros emiten cantidades significantivas de oxígeno a temperatura ambiente. Pocos residuos oxidantes son susceptibles a descomposición espontánea, es decir, a formar un compuesto inestable para producir fuego o explosión.

La norma NOM-052-ECOL-93 define: “Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a). En solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volumen.
- b). Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- c). No es líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25°C y 1 atm).
- d). Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.”

Biológico- infeccioso

Además de los residuos ya mencionados, existen otros como son los biológico-infecciosos, asociados con los tejidos de seres humanos o de animales. Estos se generan en hospitales y laboratorios; así como en sitios de elaboración de productos farmacéuticos y donde se realice investigación; también en los centros educativos cuyas instalaciones

cuenten con laboratorios de investigación y residuos de sustancias químicas y/o bioquímicas caducas o deterioradas.

La normatividad (NOM-052-ECOL-93) menciona que:

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

a).- Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección.

b).- Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efecto nocivo a seres vivos.”

2.4. FUENTES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Existen una gran variedad de fuentes de residuos peligrosos, tales como estaciones de servicio, automotriz, hospitales y clínicas, laboratorios de investigación, de educación y comerciales, entre otros, no necesariamente industriales, que pueden causar efectos importantes al ambiente. Sin embargo, la información relacionada con este tipo de fuentes no industriales se tiene en menor medida dado que, hasta ahora la legislación en la materia no se ha dirigido a este tipo de actividades y, por lo tanto, dentro de ellas el aspecto de generación de residuos peligrosos ha sido soslayado.

Los residuos han sido generados por casi todas las ramas de la industria moderna. Cabe señalar que sería un error decir que los residuos peligrosos generados por un mismo tipo de industria son esencialmente de una composición común. La composición real de un residuo (peligroso o no), no sólo es diferente entre sectores industriales, sino que puede ser apreciablemente distinta aun dentro de diferentes plantas de una misma rama industrial que fabriquen similares a idénticos productos. Las razones son las diferencias fundamentales del proceso, equipo, rutas, condiciones de reacción y, de manera importante, las técnicas de control de contaminantes aplicadas en cada industria.

En México, los problemas ambientales se han acrecentado, especialmente partir de la acelerada y anárquica urbanización e industrialización que se ha tenido, en especial en ciertas zonas metropolitanas. Este desarrollo obligó a intensificar el uso de recursos naturales, la extracción y consumo de energéticos, el incremento de la actividad minera, la explotación de bosques y otras reservas. Sin dejar de lado los beneficios hacia la sociedad que dicha industrialización conlleva, este creciente desarrollo permitió la generación de una gran cantidad y diversidad de residuos que van desde los altamente peligrosos hasta los que no representan ningún tipo de riesgo ambiental, por el momento

2.4.1. GRUPOS INDUSTRIALES Y DE SERVICIO GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Cada sector industrial genera diversas cantidades y tipos de residuos peligrosos (tabla 2.1). Tradicionalmente la industria los ha manejado mediante su disposición en terrenos baldíos o sitios abandonados en forma clandestina y sin ningún control, por lo que no existen datos precisos del volumen y del tipo de residuos peligrosos que se genera anualmente. Este tipo de información debe partir del conocimiento detallado de los procesos que se utilizan en la industria, considerando las características de las materias primas, su procesamiento y operaciones de transformación, los métodos de almacenamiento y manejo internos de residuos y su transporte y disposición final.

Un primer intento por abordar el problema derivado de la generación de residuos peligrosos debe partir de una clasificación, tanto de las fuentes generadoras como de los tipos de residuos que se producen.

TABLA 2.1.- FUENTES DE RESIDUOS PELIGROSOS (Batstone y col., 1989)

SECTOR	FUENTE	RESIDUO GENERADO
Servicios y agricultura	Mantenimiento de vehículos, gasolineras y aeropuertos	Aceites usados, aceites, fluidos hidráulicos, combustibles, solventes
	Lavado en seco	halogenados
	Transformadores eléctricos	Bifenilos policlorados
	Hospitales	Residuos biológicos e infecciosos
Gran industria	Jardinería y agricultura	Plaguicidas, fertilizantes
	Procesamiento de bauxita	Lodos rojos
	Refinación de petróleo	Catalizadores, aceites
Pequeña industria	Química y farmacéutica	Alquitranes y productos y subproductos químicos
	Producción de cloro	Mercurio
	Tratamiento de metales	Ácidos y metales pesados
	Fotoacabado	Solventes, ácidos, metales
	Procesamiento de textiles	Cadmio, solventes
	Imprenta	Solventes, tintas
	Curtido de pieles	Solventes, cromo

A continuación se presenta una relación por grupos industriales y de servicios asociados con la generación de residuos peligrosos (Batstone y col., 1989).

GRUPOS INDUSTRIALES

- *Agricultura, productos forestales y de alimentos*
Agricultura, manejo forestal y pesquería.
Productos vegetales y animales del sector alimenticio.
Industria de bebidas.
- *Extracción mineral*
Minado y explotación de minerales no metálicos.
Minado y explotación de minerales metálicos.
- *Generación de energía*
Industria del carbón, incluyendo su extracción, producción de gas y coquizado.
Industria del petróleo y gas, incluyendo extracción y refinación de productos.
Producción de electricidad.
Captación y distribución de agua.
Distribución de energía.
- *Fabricación de productos metálicos*
Metalurgia ferrosa.
Fundición y operaciones sobre metales.
- *Fabricación de productos minerales no metálicos*
Materiales de construcción, cerámica y vidrio.
Refinación de sal.
Beneficio de asbestos.
Productos abrasivos.
- *Química e industrias relacionadas*
Petroquímica.
Producción de reactivos y productos químicos primarios.
Producción de tintas, barnices, pinturas y pegamentos.
Fabricación de productos fotográficos.
Industria del perfume, de jabones y detergentes.
Materiales plásticos y hules terminados.
Producción de pólvora y explosivos.
Producción de biocidas.
- *Beneficios de metales, ingeniería e industria automotriz*
Ingeniería mecánica.
Fabricación de equipo de oficina y de procesamiento de información.
Ingeniería eléctrica y electrónica.
Fabricación de motores y partes para vehículos.
Fabricación de otros equipos de transporte.

Instrumentos de ingeniería.

Otras industrias de fabricación y beneficio de metales.

- **Industria textil, de piel y maderera**
Industria textil y del vestido.
Industria de la piel y cuero.
Industria de madera y mueblera.
Otras industrias relacionadas.
- **Industria de papel y sus productos, de impresión y publicaciones**
Industria del papel y cartón.
Laboratorios de impresión, publicación y fotografía.

GRUPOS DE SERVICIOS

- **Médicos, sanitarios y otros servicios de salud**
Laboratorios y centros de salud, hospitales.
Servicios veterinarios.
- **Servicios personales y comerciales**
Lavanderías y tintorerías.
Servicios domésticos.
Instituciones de belleza.
Otros servicios personales.
- **Industria de la construcción**
Industria del cemento.
Industria ladrillera y de mosaicos y azulejos.
Industria minera de arena, grava, tepetate y tezontle.

2.5. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO

La industria de México se caracteriza por contar con un número reducido de grandes empresas con tecnologías avanzadas y un gran número de micro, pequeñas y medianas empresas (más del 95%), la mayoría con procesos obsoletos de producción.

La planta industrial comprende cuatro tipos básicos de industrias, según la legislación mexicana:

- **Manufactura**
- **Extractiva (minería y petróleo)**
- **De la construcción**
- **Eléctrica**

En la tabla 2.2 se presentan los principales sectores de la industria nacional, de acuerdo con el número de unidades industriales (INEGI, 1989).

2.5.1. EXTRACCIÓN MINERAL

En nuestro país, durante las últimas décadas se ha incrementado la explotación minera, que genera más del 90% de los residuos en el nivel nacional, algunos con características peligrosas por su alto contenido de metales pesados como plomo y cadmio y metaloides como arsénico y selenio, entre otros.

TABLA 2.2.- PRINCIPALES SECTORES DE LA INDUSTRIA NACIONAL (INEGI, 1989)

SECTORES	UNIDADES INDUSTRIALES
Minería y extracción de petróleo	2402
Subsector	
Carbón	46
Petróleo y gas natural	33
Extracción de minerales metálicos	678
Explotación de minerales no metálicos	1645
Industrias manufactureras	141 446
Subsector	
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	51 151
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	16 853
Industria y productos de madera	16 141
Papel y productos de papel	7952
Sustancias químicas	5472
Productos minerales no metálicos	14502
Industrias metálicas básicas	932
Productos metálicos	26 945
Otras industrias manufactureras	1498
Industria eléctrica	36
Subsector	
Electricidad	36
Industria de la construcción	5308
Subsector	
Construcción	5308

2.5.2. INDUSTRIA QUÍMICA

Los procesos químicos orgánicos e inorgánicos también generan una cantidad importante de residuos peligrosos. En México, la industria, química es uno de los segmentos más dinámicos de la economía, lo cual se aprecia a través de su contribución al producto interno bruto, equivalente a 226 614 millones de dólares en 1991 y su

crecimiento de 3.1% en el mismo año, comparado con un 3.7% del resto de la industria manufacturera (ANIQ, 1991). Los tratamientos de superficies son generadores de soluciones con altas concentraciones de metales pesados, como es el caso del cromo. En los procesos de templado en los que se emplean cianuros se obtienen residuos altamente peligrosos.

Los procesos petroquímicos generan residuos tóxicos e inflamables. Según el *Inventario de las Actividades de Refinación y Transformación de la Industria Petrolera y Petroquímica Primaria*, se ha cuantificado un volumen de 1710448 ton/año de residuos industriales generados en sus centros productivos. El 90.5% de éstos son semisólidos, constituidos principalmente por los aceites procedentes de fondos de almacenamiento de tanques de crudo y de los sistemas de separación.

Con base en su composición, se calcula que aproximadamente el 11% de estos residuos es susceptible de reciclaje, aunque actualmente en México sólo se recicla el 1% (Miyasako, 1992).

Los residuos producidos en las actividades de distribución de gasolinas conteniendo tetraetilo de plomo están básicamente constituidos por los sedimentos de los tanques, los cuales no han sido cuantificados aún en nuestro país.

2.5.3. ACTIVIDAD AGRÍCOLA

En las zonas agrícolas, la contaminación de los suelos y agua es un problema importante porque se utilizan abonos e insecticidas. Éstos se agregan en los terrenos de cultivo y contribuyen a formar residuos peligrosos debido al transporte de los periodos de irrigación. El agua de exceso arrastra contaminantes no sólidos y soluciones que constituyen lo que se llama "aguas de retorno". Esto representa un grave peligro de contaminación. El estudio geológico deberá determinar la permeabilidad de las zonas por donde pasan las aguas de retorno con objeto de evitar la contaminación.

A continuación se muestran las cantidades aproximadas de residuos generados por la producción y manejo de plaguicidas (INE, 1993):

	• Líquidos	
Organofosforados		4368 L
Organoclorados		2000 L
Herbicidas		320 L
Fungicidas		7800 L
Otros		315 L
TOTAL		14803 L

• Sólidos

Organofosforados	175387k g
Organoclorados	332387 kg
Carbonatados	27300 kg
Fungicidas	30 kg
TOTAL	535104 kg

Los datos generados de residuos peligrosos mencionados son los que se han podido recopilar en el país. Evidentemente existe necesidad de información. En la tabla 2.3 se muestran los residuos peligrosos que se generan con mayor frecuencia en el país.

TABLA 2.3.- RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS CON MAYOR FRECUENCIA EN MÉXICO (INE, 1993)

RESIDUOS	PORCENTAJE
Solventes	36.2
Aceites y grasas	12.89
Pinturas y barnices	7.71
Soldaduras plomo- estaño	5.63
Resinas	4.45
Ácidos-bases	2.72
Derivados de petróleo	2.46
Metales pesados	2.01
Adhesivos	1.69
Freón	1.15
Lodos	1.15
Silicón	0.54
Tintas	0.35
Plásticos	0.26
Otros	20.79

Estimaciones oficiales calculan que la generación de residuos industriales de todo el país es de aproximadamente 450 000 T/día, de las cuales 337 500 T/día corresponden a residuos agro-industriales, entre los que destacan los de la industria azucarera, las beneficiadoras de café y las concentradoras de jugos y aceites. Todo lo anterior produce un total de 164 250 000 T/día de residuos industriales. De este total, 14 500 T/día corresponden a residuos potencialmente peligrosos (equivalentes a 5 292 500 T/año). La ciudad de México produce aproximadamente 173 500 T/mes de residuos industriales (tabla 2.5). La generación de residuos industriales se muestra en el tabla 2.4.

TABLA 2.4. - GENERACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN MÉXICO (Jauge, 1992)

ÍNDICE DE GENERACIÓN	ton/año/empleado
Industria química	2.57
Metálica primaria	3.07
Industria automotriz	1.22
Metal mecánica	0.25
Mineral no mecánica	1.77

TABLA 2.5. - GENERACIÓN DE RESIDUOS POR DELEGACIÓN POLÍTICA (SEDUE, 1990)

DELEGACIÓN	mil/ton/mcs
Alvaro Obregón	14.18
Azcapotzalco	27.49
Benito Juárez	14.90
Coyoacán	18.45
Cuajimalpa	1.99
Cuauhtemoc	16.72
Gustavo A. Madero	12.85
Iztacalco	12.34
Iztapalapa	17.66
Magdalena Contreras	0.22
Miguel Hidalgo	21.94
Mílpa Alta	0.03
Tláhuac	1.35
Tlalpan	4.26
Venustiano Carranza	6.58
Xochimilco	2.56
TOTAL	173.52

Por la intensa industrialización del país y por la introducción de nuevos criterios para definir los residuos peligrosos, es lógico pensar que estas cifras están modificándose continuamente y con ello, el volumen de residuos que se deben regular y someter a tratamientos especiales.

2.6 LEGISLACIÓN

La publicación de la nueva Ley Federal sobre Metrología y Normalización, ha dado lugar a que todas las normas y especificaciones técnicas, criterios, reglas, acuerdos, manuales, instructivos, circulares, lineamientos y demás disposiciones en todas las materias -incluyendo las relativas a residuos peligrosos-, requieran ser planteadas con un

sustento basado en el análisis costo-beneficio para su establecimiento como Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), que son las únicas que pueden tener carácter obligatorio. La liberación del comercio, la participación de nuestro país en diversos convenios y acuerdos internacionales, y la necesidad de instrumentar las propuestas asentadas en la agencia 21 (gestión ambientalmente adecuada de los residuos, en particular de los peligrosos y las sustancias tóxicas, así como la prevención del tráfico internacional ilegal de productos tóxicos o peligrosos), determinan que México deba desarrollar rápidamente, en un futuro próximo, un marco regulatorio y un enfoque estratégico que le permita enfrentar todos estos compromisos.

En lo que respecta a legislación en materia de residuos peligroso en México, ésta se basa en (Carmona, 1993):

- La Ley General de Equilibrio ecológico y la Protección al Ambiente.
- El reglamento de la misma ley en materia de residuos peligrosos.
- Siete normas técnicas ecológicas (NTE's) publicadas en 1988 y 1989 que cubren los criterios de peligrosidad y la operación de confinamientos controlados: NTE-CRP-001/88, NTE-CRP-002/88, NTE -CRP-003/88, NTE -CRP-008/88, NTE-CRP-009/898, NTE-CRP-010/88, NTE-CRP-011/89.
- De acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización de 1992, estas normas técnicas pierden vigencia al ser transformadas en Normas Oficiales Mexicanas (NOM's). El 2 de julio de 1993, en el diario Oficial de la federación aparecieron los proyectos de las Normas Oficiales mexicanas correspondientes, y el 22 de octubre de 1993 se publicaron las siete NOM's sobre el manejo de residuos peligrosos, con lo que se derogaron las NTE's. A continuación se enlistan las NOM's vigentes:
 1. NOM-052-ECOL-93, establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuos peligroso por su toxicidad al ambiente (anteriormente NTE-CRP-001/88).
 2. 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).
 3. NOM-054-ECOL-93, establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-CRP-052-ECOL/93 (anteriormente NTE-CRP-003/88).
 4. NOM-055-ECOL-93, establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos (anteriormente NTE-CRP-008/88).
 5. NOM-056-ECOL-93, establece los requisito para el diseño y la construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (anteriormente NTE-CRP-009/88).
 6. 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).

7. NOM-058-ECOL-93, establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (anteriormente NTE-CRP-011/89)

- Ocho formatos con sus respectivos instructivos.
- Tres decretos y dos acuerdos para la importación y exportación de materiales y residuos peligrosos, plaguicidas y sustancias químicas.
- Un reglamento de Transporte de Materiales Peligrosos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). además el 5 de noviembre de 1993 aparecieron en el Diario Oficial de la Federación siete proyectos de NOM's relacionados con el transporte de residuos peligrosos.

Al igual que sucede en otros países del mundo, en México se ha abordado la reglamentación y el control de los productos químicos desde la misma perspectiva de sus implicaciones sectoriales, de tal manera que un mismo producto químico puede estar sujeto, por ejemplo, a la legislación ecológica sanitaria, fitosanitaria, laboral y del transporte. Esto determina la falta de armonización entre los términos jurídicos que se emplean al hacer referencia a las sustancias químicas tóxicas o peligrosas en los distintos ordenamientos legales, y explica el que no haya coincidencia en la conceptualización y definición de los riesgos derivados de su manejo y eliminación. La normatividad respecto a los residuos peligrosos y actividades que los involucran es, en muchos aspectos, obsoleta, y en otros incompleta, en particular en lo que respecta a los métodos para el análisis químico de las sustancias, lo que trae como consecuencia que aunque se cuente con un marco regulatorio apropiado no necesariamente se dispone de los programas de verificación del cumplimiento de la regulación correspondiente (Cortinas-de-Nava, 1992).

2.7 RESIDUOS PELIGROSOS EN EL AMBIENTE Y SU EFECTO EN LA SALUD HUMANA

La importancia de manejar adecuadamente los residuos peligrosos se deriva de la necesidad de controlar sus efectos adversos para la salud humana y los ecosistemas. Desafortunadamente, estas implicaciones no fueron tomadas en consideración sino hasta muy recientemente. En el aspecto de salud, en los últimos años se han acumulado evidencias sobre los efectos adversos para la salud humana debido a la exposición a elementos y compuestos químicos tóxicos, a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas y contaminación atmosférica por volatilización y quemado de materiales; es decir, por el mal manejo de los residuos peligrosos (Heath, 1983).

Los problemas ambientales y de salud pública que acarrea su disposición final inadecuada son de tal magnitud que puede decirse que constituyen uno de los desafíos más importantes que enfrenta la sociedad moderna. En términos de salud, es importante mencionar la definición de residuos peligrosos que proporciona la Agencia de Protección Ambiental estadounidense:

“Un residuo o una combinación de residuos son peligrosos cuando debido a su cantidad, concentración, características físicas, químicas o infecciosas son capaces de : 1) causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades crónicas y 2) representar un peligro significativo o potencial para la salud humana o el ambiente cuando se tratan, almacenan, transportan o eliminan inadecuadamente”.

Se observa que, en contraste con la definición adoptada por nuestro país, en ésta el aspecto importante es la salud humana. Las etapas de interacción de los residuos peligrosos con el organismo son las siguientes (Griffith, 1989):

- **Exposición.** Se considera que un individuo está expuesto cuando el residuo se encuentra en la *vecindad inmediata de las vías de ingreso al organismo: respiratoria (inhalación); tegumentaria (absorción a través de la piel y las mucosas) y gastrointestinal (ingestión).*
- **Absorción.** Consiste en el paso del residuo a través de las membranas biológicas correspondientes a la circulación sistemática. En la sangre las sustancias que lo componen se solubilizan en el plasma y/o se unen a las proteínas plasmáticas o a los glóbulos rojos.
- **Eliminación.** Ocurre ya sea por excreción urinaria y/o intestinal y por biotransformación. En los términos globales, el metabolismo tiende a generar sustancias *menos activas y fácilmente excretables.*
- **Acumulación.** De acuerdo con las características fisicoquímicas del residuo, puede llegar a fijarse en ciertos tejidos y acumularse en ellos e interactuar con las macromoléculas celulares.

El proceso de evaluación de los riesgos tiene como objetivo desarrollar una forma cuantitativa de expresar el perjuicio para la salud humana por la presencia de todos los materiales peligrosos que se hayan identificado en el sitio de estudio. Consta de cuatro etapas: 1) identificación del peligro, 2) evaluación de dosis-respuesta, 3) caracterización del riesgo y 4) evaluación de la exposición.

La evaluación de la exposición corresponde a la estimación cualitativa y cuantitativa de la dosis, frecuencia, duración y ruta a través de la cual se produce el contacto residuo peligroso-organismo; es un componente crucial de los estudios de epidemiología ambiental que buscan establecer causales entre la exposición a agentes físicos y químicos procedentes de residuos peligrosos y las consecuencias adversas en la salud. Un informe del Consejo Nacional de Ciencia de los Estados Unidos (NRC, 1991) determinó los siguientes puntos fundamentales para poder realizar la evaluación de la exposición:

- Distribuciones de concentración en tiempo y espacio para diferentes ambientes.
- Poblaciones o grupos de alto o bajo riesgo.
- Contribuciones químicas y físicas de diferentes fuentes.
- Factores que controlan la distribución del contaminante en el ambiente, rutas de transporte y vías de entrada al organismo.

En el caso de exposición a residuos, deben considerarse: la atmósfera, suelo, agua y alimentos. Para estimar la exposición personal, se puede medir la dosis potencial, la dosis sanguínea y la dosis en el órgano blanco que es la biológicamente efectiva, que es donde se producirán efectos sobre la salud. La dosis sanguínea generalmente se mide a través del monitoreo biológico -exámenes y pruebas de laboratorio-. Este monitoreo tiene limitantes cuando se habla de evaluar la exposición da residuos peligrosos: una de ellas es cómo manejar las mezclas de residuos cuyos efectos pueden antagonizarse o potenciarse; la otra es la variabilidad biológica normal del hombre y, por último, este tipo de monitoreo generalmente indica exposiciones recientes.

Estudios relacionados con las alteraciones en sujetos expuestos a residuos peligrosos han sido realizados en nuestro país, aportando información importante al respecto (Díaz-Barriga, 1991). Sin embargo, y debido a la magnitud del problema es necesario incrementar este tipo de estudios, identificar el riesgo de los diversos residuos que se producen en nuestro país y evaluar el riesgo de las poblaciones expuestas; de esta manera se podrán desarrollar las estrategias adecuadas para la protección de la población. El proceso de valuación de riesgos es fundamental al hablar de residuos peligrosos.

3. PROBLEMÁTICA

Todas las naciones del mundo se esfuerzan por el continuo incremento en el nivel de vida de los ciudadanos. El desarrollo mediante la industrialización ha sido uno de los principales mecanismos para alcanzar dicho objetivo. Este desarrollo implica el incremento en las necesidades de generación y explotación de diversos recursos: lo que genera efectos perjudiciales para el ambiente.

La enorme población en los centros urbanos y el crecimiento acelerado de la actividad industrial, de servicios públicos y privados así como de investigación, trae como consecuencia el desarrollo de nuevos procesos y sustancias químicas que contribuyen a la generación de residuos.

Los residuos varían según el tipo de actividad y formas de consumo que los generan, por estas razones los residuos se pueden clasificar para su estudio en emisiones a la atmosfera, aguas contaminadas y residuos industriales, estos últimos se clasifican en residuos peligrosos y no peligrosos.

En México se localiza una de las mayores concentraciones urbano-industriales del mundo. Se requiere de una infraestructura compleja a fin de manejar adecuadamente sus residuos, y de manera muy especial sus residuos peligrosos (Sarmiento-Ojeda, 1993).

Existe una gran preocupación por la falta de información confiable sobre los residuos peligrosos que se producen actualmente: ¿Qué son? ¿Quién los produce? ¿Qué sucede con ellos? ¿Qué impacto tienen al ambiente? Y, finalmente ¿Qué se puede o debe hacer con ellos?

Es difícil conocer con precisión la magnitud de este problema ante la carencia de inventarios o registros de los tipos o volúmenes de residuos peligrosos generados, así como su destino final. Prácticamente no hay ningún control sobre ellos.

La acumulación y dispersión de estos residuos se debe a diversas razones, como pueden ser: a). son mezclados con la basura doméstica en tiraderos municipales, b). son arrojados al drenaje o a contracorrientes de agua, c). son almacenados dentro de las mismas empresas. Estas disposiciones ilegales provocan serios daños al ecosistema.

La falta de control de los residuos ocasiona daños cuantiosos a la salud y al medio ambiente. Es evidente que a nivel mundial esta falta de control provoca desde intoxicaciones hasta problemas degenerativos y congénitos. Asimismo, se provoca mortandad de fauna y flora, se disminuye la fertilidad de los suelos y se contaminan los mantos de agua. Todos estos problemas son derivados del manejo inadecuado, de la falta de medidas de control y de seguridad e higiene con respecto de los residuos peligrosos.

Debido a la magnitud y complejidad de los residuos peligrosos, es necesario que se evalúen sistemáticamente todas sus propiedades a fin de conocer qué conlleva su generación.

Así como crece la magnitud y seriedad de los problemas asociados con la generación, eliminación y manejo en general de los residuos peligrosos, de manera similar las obligaciones y responsabilidades de los involucrados, también crece, ya que requieren de un manejo especial y no deben ser eliminados a menos que se cumplan requisitos técnicos, administrativos y legales.

Como resultado del interés mundial por la conservación de la vida y el planeta, existe la preocupación por parte de las autoridades, grupos industriales y de investigación, por resolver los problemas que suscitan los desechos peligrosos. Por otra parte, la población comienza a darse cuenta a través de los medios de difusión, de los sucesos en los que se ha puesto en peligro la salud como consecuencia del manejo inadecuado de residuos peligrosos.

Esto implica definir y clasificar toda la variedad de residuos existentes con el propósito de conocer más a fondo el comportamiento de cada uno de acuerdo a su naturaleza y la manera adecuada para disponerlos.

Además un residuo puede ser inestable y cambiar su comportamiento continuamente, por lo que los estudios deberán prevenir todas las posibles contingencias de su manejo y control.

Por lo anterior, los residuos se deben identificar y evaluar en forma adecuada para poder seleccionar las metodologías y/o tecnologías de control más apropiadas, disminuyendo al máximo la posibilidad de que se presente algún tipo de exposición.

3.1. PROBLEMÁTICA EN ESTUDIO

Se sabe bien que la industria, así como el comercio, las casas habitación y el hombre en sí, generan una cantidad enorme de residuos.

De la misma manera, los centros educativos como son los de la enseñanza primaria, secundaria, preparatoria y las instituciones de enseñanza superior, cuentan con laboratorios experimentales en los que se utilizan una gran variedad de sustancias químicas, las cuales generan desechos tóxicos y peligrosos de muy diversa índole.

Ante esta problemática, para coadyuvar con la resolución de problemas de la UNAM así como del sector público y privado, en julio de 1989 se fundó el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA).

En este programa se pretende buscar opciones de solución a diversos problemas ambientales que existen en la actualidad.

Debido a lo anterior, en dicho programa se realizan diversas investigaciones, las cuales requieren de la identificación de elementos así como la medición de distintos parámetros. Uno de ellos es la demanda química de oxígeno (DQO)¹.

Lamentablemente después de realizada la medición del parámetro DQO, las sustancias que intervienen en ésta no pueden ser reutilizadas, por lo que estas sustancias se convierten en un residuo.

Realizando un análisis en un equipo de fotometría de absorción atómica, se observó que este residuo líquido contenía altas concentraciones de metales pesados, como Hg^{+1} , Hg^{+2} , Ag^{+1} , Cr^{+3} y Cr^{+6} , las cuales sobrepasaban los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, por lo que este residuo se considera como PELIGROSO (Montuy, 1997).

Caracterizado el residuo como peligroso, no es ético ni legal verterlo libremente al drenaje; por esto, todo el residuo proveniente de la DQO, se ha ido almacenando en tanques de 200L dentro del mismo laboratorio. Ahora, la nueva problemática enfrentada es la acumulación de un volumen considerable de residuo (400L); para resolver esto, se desarrolló una metodología que elimine del residuo el carácter de peligroso y, mediante previo análisis, para respetar la normatividad ecológica, en este caso la NOM-002-ECOL-96, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantillado, pueda verterse al drenaje sin riesgo.

En la aplicación de esta metodología (ANEXO B), los resultados fueron satisfactorios pero lamentablemente el volumen acumulado y el que se seguía generando, era superior al que podría ser tratado mediante esta técnica dentro del laboratorio.

Con la responsabilidad de controlar y disminuir el volumen acumulado y el riesgo que esto representa, así como evitar mayores acumulaciones de residuo, se propuso un sistema para la estabilización del residuo proveniente de la determinación del parámetro DQO. Con este sistema se pretende obtener un alto rendimiento en cuanto a la recuperación o separación de los metales así como procurar que la implementación de éste a nivel de planta piloto sea factible, realizándose dentro de las mismas instalaciones de la universidad.

De esta forma sería posible realizar no solamente el tratamiento del residuo producido en el laboratorio del PIQAyQA, sino que podría ser tratado todo el residuo

¹ 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 en agua de suministro o residual, 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 de suministro o residual)

que se obtuviera en todos los laboratorios de la universidad en donde se realizara la medición de este parámetro, como la Facultad y el instituto de Ingeniería, la propia planta de tratamiento de aguas de la Ciudad Universitaria, la FES Zaragoza, las ENEP Aragón e Iztacala, etc.

3.2. OBJETIVOS

- Proponer un sistema escalado a nivel de planta piloto para la estabilización del residuo proveniente de la medición del parámetro DQO.
- Obtener un alto rendimiento en la recuperación o separación de los metales presentes en el residuo.

3.3. ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN

La estrategia de solución al problema en cuestión, se organizó de la siguiente manera :

a).-Fundamento teórico.

b).- Metodología (desarrollo de un proceso escalado a nivel de planta piloto idóneo y controlado)

c).- Análisis de los resultados obtenidos

El fundamento teórico ayudará a conocer las propiedades físicas, químicas, toxicológicas, etc, de los metales presentes en el residuo proveniente de la medición del parámetro de DQO. Así también, servirá para conocer las bases teóricas en que se sustentan los procesos para el tratamiento de un residuo y, finalmente, se podrán conocer las investigaciones realizadas con anterioridad sobre este tema.

Dentro del desarrollo de proceso para el tratamiento del residuo en cuestión, se realizará la caracterización del residuo la cual servirá para conocer las propiedades físicas, químicas y organolépticas que presenta (color, olor, etc), así también, para conocer de manera precisa las concentraciones de los metales presentes dentro de los distintos tanques de almacenamiento.

Ya conocidas todas las características del residuo se podrá desarrollar el proceso escalado a nivel de planta piloto para el tratamiento del desecho.

Finalmente, se realizará un análisis de los resultados obtenidos para saber, en primer lugar, la eficiencia del proceso aplicado, después, para saber la viabilidad de aplicarlo a nivel de planta piloto y, por último, analizar si se cubren los requerimientos ambientales para desechar el residuo líquido resultante al drenaje sin riesgo alguno.

4. FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1. GENERALIDADES DEL CROMO, MERCURIO Y PLATA

4.1.1. CROMO

El cromo es un metal de transición que ocupa el 21ero. lugar en orden de abundancia dentro de la corteza terrestre ; equiparándose con elementos como vanadio (V), zinc (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu) y tungsteno (W) .

La primera identificación de este metal fue realizada por el químico francés Vauquelin en 1798 que, al trabajar con un mineral raro, plomo siberiano rojo, logro aislar al cromo. Este personaje tomó del griego *chroma* (color) el nombre de cromo, debido a la *gran diversidad de compuestos coloridos que forma.*

PROPIEDADES

El cromo es un metal de color blanco azulado de naturaleza refractaria y de alta dureza. Tiene una alta resistencia a los ácidos y solamente es atacado por los ácidos clorhídrico, fluorhídrico y sulfúrico.

Los estados de oxidación más comunes del cromo son (VI), (III) y (II) aunque bajo condiciones controladas se han determinado compuestos (V), (IV) y (I) , siendo el trivalente Cr(III) y el hexavalente Cr(VI) las formas más comunes en el ambiente. El Cr (VI) forma cromatos, principalmente de color amarillo y dicromatos, generalmente de color rojo. El cromo trivalente forma numerosos iones complejos de diversos colores. Asimismo, existen muchos compuestos organometálicos de cromo.

El Cr(III) tiene un carácter anfotero. Los iones hidroxilo se condensan formando especies con grupos hidroxilo como puentes. Por adición de base al Cr(III) se forman especies poliméricas solubles de peso molecular muy grande y, ocasionalmente, geles verdes oscuros del óxido hidratado. Los cationes ácidos o no precipitan por encontrarse como aniones solubles en medio ácido o precipitan ligeramente en medio ácido, disolviéndose con facilidad en medio poco ácido o alcalino.

TOXICIDAD

En los últimos años se ha demostrado que en pequeñas dosis muchos elementos, que tradicionalmente eran considerados tóxicos, son esenciales, ya que participan en los procesos enzimáticos (como es el caso del cromo). Sin embargo, cuando aumenta la concentración o cambia el estado de oxidación del elemento y, consecuentemente sus propiedades, pueden interferir con los procesos esenciales, dañando a los seres vivos. El

límite en el que un elemento empieza a dañar a un organismo no es fijo, ya que depende de las características de cada individuo y de las de la especie a que pertenece. Los valores informados como niveles máximos permisibles se obtienen a partir de estudios epidemiológicos y de laboratorio (Bazúa, 1994).

Los efectos tóxicos del cromo están relacionados con su estado de oxidación, considerando que los dos estados termodinámicamente estables bajo condiciones ambientales son el Cr(VI) y el Cr(III).

En la literatura química se ha utilizado el término de especiación para la separación y determinación de los estados de oxidación de los metales.

Además de la afinidad relativa de los iones metálicos libres por los grupos funcionales biológicos, se han reconocido ampliamente que la toxicidad depende la forma o especies del metal a las cuales el organismo ha sido expuesto. En los ambientes acuáticos y terrestres, la especiación del metal está determinada por la combinación de las propiedades químicas del metal individual con los efectos de las condiciones ambientales exteriores.

Los efectos más agresivos a la biota parecen ser causados predominantemente por los compuestos de Cr(VI), ya que, en general, son muy solubles y oxidantes. El estado trivalente se considera menos peligroso, ya que sus compuestos son menos solubles y el ion $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ es muy estable cinéticamente, por lo que no interacciona con los ligantes presentes en los organismos. El cromo hexavalente puede formar compuestos de coordinación con aminoácidos y proteínas, razón por la cual se utiliza en el curtido de la piel. La absorción de las sales de Cr(III) en el tracto gastrointestinal de los humanos es lenta (dentro de un intervalo de 0.5 a 1%) y se ve reducida por la ingestión de alimentos.

El Cr(VI) es un irritante de la piel y, por inhalación, del tracto respiratorio. Una continua ingestión de agua potable con concentraciones de Cr(VI) hasta de 25 ppm tiene efectos tóxicos. A altos tiempos de exposición es reconocido como un carcinógeno en el tracto respiratorio de los mamíferos. Algunos estudios recientes en glóbulos rojos de sangre humana indican que, aunque el cromo sea absorbido como Cr(VI), se reduce intracelularmente a Cr(III) que, en una forma coordinada, se transforma en una especie genotóxica.

Aparte de estos efectos, los cromatos producen úlceras cuando una herida cutánea es contaminada con ellos. Si se pone en contacto suficiente cromato con lesiones en la piel, pueden producirse resultados fatales. Prolongadas exposiciones cutáneas al cromato causan reacciones alérgicas y dermatíticas.

Aún no se ha definido una dosis letal de Cr(VI), sin embargo, se estipula que es del orden de 3 a 5 gramos para los humanos adultos. Para exposiciones por inhalación se han fijado los estándares a 0.1 mg de CrO_3/m^3 o 0.05 mg de $\text{Cr(VI)}/\text{m}^3$. Los estándares para

sales crómicas y cromosas solubles se ha fijado en 0.5 mg de Cr/m³ y, para cromo metálico y compuestos insolubles crómicos, en 1.0 mg de Cr/m³.

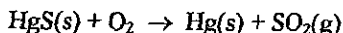
La excreción del cromo en humanos se realiza rápidamente, variando su vida media entre 12 horas y 83 días. Los principales medios de eliminación son la orina (7 a 10 µg/día) y las heces o materia fecal, aunque el mecanismo con el que se lleva a cabo es desconocido. Las cantidades promedio de cromo en sangre en humanos son del orden de 0.05 a 0.16 ppm, mientras que en la orina son de aproximadamente 3.5 ppm .

Dado que la forma trivalente del cromo es relativamente inofensiva y que la forma hexavalente es tóxica, se han realizado esfuerzos especiales para lograr la separación de estos compuestos de cromo de las sustancias en contacto con los seres vivos.

4.1.2. MERCURIO

PROPIEDADES

El mercurio se obtiene del cinabrio, que es un mineral de color rojo oscuro:



Al escapar el SO₂, el cual es un gas, se condensa el mercurio, que después es purificado por destilación triple.

A temperatura ordinaria el mercurio es un líquido muy pesado (un litro pesa 13.6 kg.), de color semejante a la plata, su punto de ebullición es de 357°C y es altamente volátil a temperatura ambiente.

El mercurio presenta dos estados de oxidación, como son monovalente (Hg⁺¹) y divalente (Hg⁺²).

El mercurio divalente puede formar uniones covalentes con átomos de carbono y por esta propiedad se le conoce como mercurio orgánico

TOXICIDAD

Los usos del mercurio en la industria son múltiples y existe peligro de exposición al mercurio en las siguientes industrias y ocupaciones:

a) Se emplea en los laboratorios de investigación médica y en patología clínica

- b) Manufactura de instrumentos científicos
- c) Medidores eléctricos
- d) Lámparas de vapor de mercurio
- e) Amalgamas con cobre, zinc, plata y oro
- f) Para soldaduras
- g) En la producción de compuestos orgánicos
- i) Como catalizador en la producción de plásticos de vinil, utilizando sales de mercurio

El mercurio metálico es el más volátil de las formas inorgánicas del mercurio. Una atmósfera saturada a 25°C y a 760 mmHg de presión contiene 19.6 mg de Hg/m³. Niveles 100 veces más bajos que estos producen síntomas de mercurialismo. El cloruro mercurioso (Hg₂Cl₂) es un compuesto color blanco, siendo el menos tóxico de los compuestos mercuriosos que se conocen. Es utilizado en algunas cremas como antiséptico, también fue usado como catártico, tiene propiedades diuréticas, es insoluble en agua y no es venenoso. Las sales de mercurio son las más irritantes y una de las formas más tóxicas del mercurio como el nitrato mercuríco (Hg(NO₃)₂) ganó notoriedad hace 400 años en la industria de los sombreros en donde el mercurio llegó a ser una sustancia peligrosa (Borja, 1985).

El cloruro mercuríco (HgCl₂) es un compuesto tóxico, se le conoce también como sublimado corrosivo y es un veneno demasiado violento.

Todos los organomercuriales usados hoy en día, sólo contienen mercurio de unión covalente a un átomo de carbono, como los diuréticos mercuriales que tienen la toxicidad más baja de los compuestos orgánicos y tiene uso clínico, son solubles en agua y rápidamente excretados en la orina.

La absorción del mercurio en el organismo puede ser por vías respiratorias, gastrointestinales, piel y en los casos de preparaciones anticonceptivas a través de la vagina. En general, la mayoría de los compuestos del mercurio son absorbidas. El mercurio inorgánico es excretado por los riñones, glándulas salivales, sistema biliar y la piel. Los compuestos orgánicos del mercurio son excretados principalmente por el riñón. La orina y las heces son los medios más importantes para la eliminación de este metal. También ha sido encontrado en cabello humano después de la ingestión de alimentos que contienen mercurio.

El mercurio en forma de vapor es oxidado en el organismo a mercurio divalente, esta oxidación ha sido demostrada y ha procedido in vitro, en contacto con el vapor y la sangre humana.

Los niveles de concentración en el cerebro son más altas después de exposición al vapor del mercurio, debido a que el vapor es disuelto en la corriente sanguínea, durante el período de exposición. Por eso se dice que el vapor es rápidamente oxidado en el cerebro, ya que el mercurio una vez depositado en este órgano, es lentamente liberado.

El almacenamiento del mercurio es una consideración importante en la toxicología de este metal. Los compuestos de mercurio inorgánicos y orgánicos si se presentan con ciertas concentraciones anormales pueden envenenar cualquier célula.

Los niveles de mercurio normalmente encontrados son los siguientes:

Orina	20 a 25 mcg/día
Sangre	0 a 4 mcg/100mL
Heces	0 a 10 mcg/día

4.1.3. PLATA

La plata se presenta en la corteza terrestre en la proporción de sólo 10⁻⁸%. Indudablemente el hecho de que sea un metal noble, y que sus minerales sean fáciles de reducir condujeron al descubrimiento del mineral en tiempos muy primitivos. La minería de la plata estaba organizada ya 2000 años a.C. La plata se presenta en estado natural en un cierto número de localidades, frecuentemente en forma filamentosa, formando inclusiones en rocas cuarcíferas duras. La mayoría de la plata del comercio se extrae en forma de minerales sulfurados (González, 1976).

PROPIEDADES

La configuración electrónica de la plata es 2:8:18:18:1. la valencia primaria es 1, aunque existe evidencia de un estado de oxidación mayor en el óxido de plata "divalente". Su peso atómico es 107.868. Existen dos isótopos estables que pesan 107 y 109 con una relación de abundancia de 1.075 a 1. Se conocen 25 isótopos radiactivos con pesos de 102 a 117 inclusive y vidas medias de 5 seg a 253 días. El punto de fusión de la plata es de 960°C y su punto de ebullición es de 1950°C

La plata es la única entre los metales por sus habilidades para disolver grandes cantidades de oxígeno estando fundida y por liberar parte de éste durante la solidificación. En aire a temperaturas superiores al punto de fusión, la plata disuelve aproximadamente diez veces su propio volumen de oxígeno. Durante el enfriamiento la rápida liberación de oxígeno da origen al fenómeno de "ampollas".

La plata es inerte a muchas sustancias: La principal reacción química de la plata para la producción de compuestos químicos es su reacción con ácido nítrico que da nitrato de plata y una mezcla de NO y NO₂. Otra reacción importante de la plata es con halógenos. La plata forma haluros de la forma AgX con todos los halógenos y además forma un fluoruro anómalo de fórmula Ag₂F.

El cloruro de plata precipita en forma de un sólido blanco al añadir cloruros en una solución que contenga este elemento. Este precipitado es insoluble en ácido nítrico, hecho del que se hace amplio uso en análisis cualitativos. Al quedar sometido a la acción de la luz tanto el cloruro de plata, bromuro de plata y yoduro de plata se oscurecen.

TOXICOLOGÍA

Se ha observado que los elementos, que en un ambiente no alterado se encuentran en altas concentraciones y en formas disponibles, en general no son dañinos. En cambio, los elementos tradicionalmente no disponibles, ya sea por encontrarse en la naturaleza formando compuestos muy insolubles o por ser poco abundantes, cuando se introducen en los organismos por encima de una concentración límite, se consideran tóxicos (González, 1976).

La plata como metal puro es inofensivo, aunque como compuesto, ésta se precipita en las capas epiteliales de la piel y en los tejidos elásticos y luego se reduce por la acción de la luz o sulfuro de hidrógeno originando argirismo (manchas azuladas).

Las características generales del argirismo son: color gris oscuro de distribución uniforme sobre la cara, frente, cuello, manos, y antebrazos; los dedos pueden tener color castaño o chocolate oscuro; se puede observar una ligera coloración en las partes cubiertas de la piel. El argirismo localizado se presenta cuando el individuo trabaja pequeñas partículas metálicas que penetran en la piel, produciendo un tatuaje. Las sales de plata por ingestión producen una grave gastroenteritis. La absorción de la plata puede ser por inhalación y por ingestión. La concentración máxima permisible es de 12 millones de partículas /metro cúbico en aire.

4.2. TRATAMIENTOS DE RESIDUOS PELIGROSOS

El principio de cualquier política de residuos tiene que ser el de evitar la generación de estos (Oaxaca, 1997). Si no se puede evitar la generación, se debe reducir la cantidad generada o se debe intentar reciclarlos o reusarlos; si esto no se logra, al menos se debe buscar la forma de estabilizar los residuos y con ello eliminarles el carácter de peligrosos (Ri6n, 1993). Sin embargo, a pesar de todas estas alternativas, no se puede evitar por completo la generación de residuos, siempre habrá una cantidad de residuos obligados; por lo que como 6ltimo recurso queda el confinamiento controlado. Esta soluci6n no es la mejor, pero al menos se sabe d6nde fueron confinados los residuos generados y que 6stos no est6n expuestos libremente al medio ambiente.

Ahora bien, en la b6squeda de soluciones para estabilizar los residuos peligrosos, lo m6s importante a realizar primero, es tener el conocimiento exacto de qu6 tipo de residuo es y qu6 lo conforma, para as6 determinar qu6 proceso se le va a dar y qu6 precauciones se deben tener (Sans, 1989).

Lo segundo m6s importante, es saber que el residuo generado dentro del proceso de producci6n no se comporta en este momento como la materia prima original, esto es debido a que es una mezcla de distintos componentes y que las concentraciones de la sustancias t6xicas pueden estar en grandes cantidades o existir trazas de las mismas que al estar en contacto con otras sustancias qu6micas, pueda llevarse a cabo una reacci6n de resultado no previsto y ocasionar un accidente tanto al humano como a las instalaciones.

Algunos de los procesos existentes para el tratamiento de los residuos peligrosos, son los siguientes:

- Procesos f6sicos
- Procesos biol6gicos
- Procesos t6rmicos
- Procesos qu6micos

4.2.1. PROCESOS F6SICOS

Los procesos f6sicos para el tratamiento de residuos, son todos aquellos en los que se emplean la fuerzas f6sicas para su aplicaci6n. En general, las operaciones f6sicas se emplean durante todo el empleo de tratamiento del residuo, aunque algunas son casi exclusivamente operacionales de pretratamiento.

Estos procesos se aplican a residuos l6quidos, s6lidos y gaseosos. Los residuos l6quidos son los m6s factibles de tratarse por estos m6todos, ya que su funci6n primordial es la de separaci6n y reducci6n de vol6menes. Sin embargo, hay m6todos que disminuyen

la toxicidad, agilizan el tratamiento o se consideran adecuados para disponer a las sustancias de una manera definitiva y segura.

En la tabla 4.1, se muestran las diferentes tecnologías que componen al tratamiento físico, su función, así como el tipo de residuo que puede ser tratado por éste y el estado en que debe encontrarse el residuo (Fernández, 1992).

TABLA 4.1. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO FÍSICO (Fernández, 1992)

MÉTODO	FUNCIÓN	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
AERACIÓN	SEPARACIÓN	1 2 3 4	LÍQUIDO
FLOTACIÓN	"	1 2 3 4	LÍQUIDO
SEPARACIÓN CON AIRE	"	1 2 3 4 6	LÍQUIDO, SÓLIDO
GRAVEDAD	"	2 4 9	LÍQUIDO
ULTRAFILTRACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
SEPARACIÓN CON VAPOR	"	1 2 3 4 6 7 9	LÍQUIDO
SEPARACIÓN MAGNÉTICA	"	1 2 3 4 5 6	SÓLIDO, LÍQUIDO Y GAS
COAGULACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
ADSORCIÓN EN CARBÓN	REDUCCIÓN DE VOL., SEPARACIÓN	1 3 4 5	LÍQUIDO
CENTRIFUGACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
DIÁLISIS	"	1 2 3 4	LÍQUIDO
DESTILACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
ELECTRODIÁLISIS	"	1 2 3 4 5 6	LÍQUIDO
EVAPORACIÓN	"	1 2 5	LÍQUIDO
FILTRACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO, GAS
FLOCULACIÓN/SEDIMENTACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
ÓSMOSIS INVERSA	"	1 2 4 6	LÍQUIDO
SEDIMENTACIÓN	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
ENCAPSULAMIENTO	ALMACENAMIENTO	1 2 3 4 5 6	LÍQUIDO, SÓLIDO
MICROONDAS	DESINTOXICACIÓN	1 2 3 4 5 7 9	SÓL., LÍQ., GAS
FOTÓLISIS	"	1 2 3 4	LÍQUIDO

- 1= sustancia inorgánica sin metales pesados
- 2= sustancia inorgánica con metales pesados
- 3= sustancia orgánica sin metales pesados
- 4= sustancia orgánica con metales pesados
- 5= compuesto radiológico
- 6= compuesto biológico
- 7= compuesto flamable
- 8= compuesto explosivo
- 9= aceite/agua

4.2.2. PROCESOS BIOLÓGICOS

El tratamiento biológico puede ser una forma eficiente a bajo costo de remoción de sustancias peligrosas de aguas residuales y aguas subterráneas contaminadas, lixiviado de rellenos sanitarios y suelos contaminados. Los procesos biológicos se utilizan para tratar los residuos que contienen una carga orgánica alta, es decir, sus compuestos están constituidos por carbón, hidrogeno y oxígeno principalmente. Estas tecnologías se pueden aplicar a las sustancias orgánicas con o sin metales pesados.

El tratamiento biológico se puede aplicar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. El principio de este tratamiento es la utilización de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias; estas transforman los nutrimentos en tejido celular y diversos gases.

En la tabla 4.2 se muestran algunas tecnologías que constituyen el tratamiento biológico (Fernández, 1992).

TABLA 4.2. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO (Fernández, 1992)

MÉTODO	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
LODO ACTIVADO	3 6	LÍQUIDO
LAGUNA DE AERACIÓN	3 6	LIQUIDO
DIGESTIÓN ANAEROBIA	3 6	LIQUIDO
FILTROS ANAEROBIOS	3 6	LIQUIDO
FILT. DE ESCURRIMIENTO	3 6	LIQUIDO
BIODISCOS ROTATORIOS	3 6	LIQUIDO
SIEMBRA BIOLÓGICA	3 6	LIQUIDO
COMPOSTA	3 4 6	LIQUIDO

3= sustancia orgánica sin metales pesados

4= sustancia orgánica con metales pesados

6= sustancia biológica

4.2.3. PROCESOS TÉRMICOS

El tratamiento térmico es uno de los medios más efectivos para reducir el peligro potencial de muchos residuos y en algunas ocasiones, convertirlos en una forma de energía útil. Este tratamiento consiste básicamente en una oxidación controlada a alta temperatura de los compuestos orgánicos primarios para producir CO₂ y H₂O. También se producen sustancias orgánicas adicionales como ácidos, sales y compuestos orgánicos que se derivan del mismo residuo. Los procesos de tratamiento térmico han sufrido modificaciones substanciales en cuanto a los equipos que se emplean, las temperaturas actualmente son muy elevadas y los tiempos de retención son muy pequeños. La función

principal de este tratamiento es la disminución de volumen y la reducción de la toxicidad; por último es conveniente señalar que las eficiencias de combustión se incrementan cuando se emplean para sustancias peligrosas con bajo contenido de humedad (Cruz, 1993).

En la tabla 4.3 se muestran algunas tecnologías del tratamiento térmico (Fernández, 1992).

TABLA 4.3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO (Fernández, 1992)

MÉTODO	FUNCIÓN	TIPO DE RESIDUO	FORMA DE RESIDUO
INCINERACIÓN	REDUC. VOL., DESINTOXICACIÓN.	3 5 7 8	SÓLIDO, LÍQUIDO GAS
PIRÓLISIS	"	1 2 3 4 6	SÓL., LÍQ., GAS
SAL FUNDIDA	"	1 2 3 4 5 6	SÓLIDO, LÍQUIDO
OXIDACIÓN AIRE HUMEDO	"	3 4	LÍQUIDO
OXIDACIÓN TERM. LECHO FLUIDIFICADO.	"	1 2 3 4 5 6 7 8	SÓL., LÍQ., GAS
HORNO ROTATORIO	"	1 2 3 4 5 6 7 8	SÓL., LÍQ., GAS
OXIDACIÓN CATALÍTICA	"	3 6 7 8	SÓL., LÍQ., GAS.

- 1= sustancia inorgánica sin metales pesados
- 2= sustancia inorgánica con metales pesados
- 3= sustancia orgánica sin metales pesados
- 4= sustancia orgánica con metales pesados
- 5= sustancia radiológica
- 6= sustancia geológica
- 7= sustancia inflamable
- 8= sustancia explosiva

4.2.4. PROCESOS QUÍMICOS

El análisis de los procesos químicos se realiza al final, ya que éstos son la base de este proyecto; es por ello que se profundizará en algunas de sus tecnologías para poder comprender el fundamento del proceso propuesto.

Los procesos químicos son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del residuo se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Este tipo de procesos involucra el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes residuales peligrosas en menos peligrosas y complementadas con tratamientos físicos para facilitar su separación; pueden fomentar la recuperación de las sustancias peligrosas, para obtener subproductos útiles y efluentes residuales ambientalmente aceptables.

Los tratamientos químicos van a tener mejor eficiencia de estabilización sobre los residuos peligrosos con bajo contenido de materia orgánica. Se presentará la disminución de volumen, la reducción de toxicidad y la separación de contaminantes.

En la tabla 4.4 se presentan algunas de las tecnologías que involucra el tratamiento químico, su función, tipo de residuo y forma de éste (Fernández, 1992).

TABLA 4.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO QUÍMICO (Fernández, 1992)

MÉTODO	FUNCIÓN	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
CALCINACIÓN	REDUC. VOLUMEN	1 2 3 4 5	LÍQUIDO, SÓLIDO
INTERCAMBIO IÓNICO	RÉD.VOL,SEPARACIÓN,DESINTOXICACIÓN	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
NEUTRALIZACIÓN	DESINTOXICACIÓN	1 2 3 4	LÍQUIDO
OXIDACIÓN	"	1 2 3 4	LÍQUIDO
HIDRÓLISIS	"	3 4	LÍQUIDO
PRECIPITACIÓN	REDUCC.VOL., SEPARACIÓN	1 2 3 4 5	LÍQUIDO
REDUCCIÓN	"	1 2	LÍQUIDO
ELECTRÓLISIS	SEPARACIÓN	2	LÍQUIDO
EXTRACCIÓN (LIQ-LIQ)	"	1 2 3 4 5	LÍQUIDO

- 1= sustancia inorgánica sin metales pesados
- 2= sustancia inorgánica con metales pesados
- 3= sustancia orgánica sin metales pesados
- 4= sustancia orgánica con metales pesados
- 5= sustancia radiológica

4.2.4.1. 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 el solvente para disminuir la solubilidad de las sustancias en él. Los sólidos precipitados pueden separarse por *sedimentación* o *filtración*. Se utiliza comúnmente para reducir la dureza del agua por remoción de calcio y magnesio. En el tratamiento de los residuos peligrosos el proceso tiene una amplia aplicación para la remoción de metales de residuos acuosos.

Se requiere de un tanque de reacción con agitación y de un reactivo de precipitación. El costo está en función del tamaño del equipo a utilizar, de la concentración de la corriente a tratar y de los reactivos químicos empleados en el proceso.

La precipitación es aplicable al tratamiento de los residuos peligrosos acuosos que contengan constituyentes tóxicos que pueden convertirse en insolubles. Esto comprende residuos que contienen metales como cromo, cadmio, cobre, plomo, níquel, zinc, mercurio, selenio, plata, arsénico, bario y talio, entre otros.

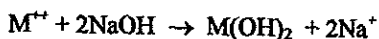
Otros residuos acuosos que comúnmente contienen metales y pueden removerse por precipitación, son los residuos corrosivos y el licor del baño químico de metales gastado, usado en las operaciones de acabado del acero en la industria del hierro y del acero.

La primera consideración en la precipitación de metales pesados es la elección del reactivo. 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 ve afectada por la temperatura, también es un factor importante en este tipo de reacciones.

Existen diferentes precipitantes químicos para la remoción de metales pesados de los residuos acuosos. La precipitación de hidróxidos utilizando hidróxido de calcio o hidróxido de sodio como agente precipitante es el método más empleado. La mayoría de los metales también pueden precipitarse como sulfatos y algunos de ellos como carbonatos. Un agente reductor como el borohidruro de sodio puede reducir y precipitar metales en su estado elemental.

PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDOS

La precipitación de hidróxidos utiliza como precipitante el hidróxido de calcio (cal) o hidróxido de sodio (sosa cáustica) para remover los metales como peróxidos metálicos insolubles. La reacción se ilustra por el siguiente mecanismo para la precipitación de metales bivalentes utilizando hidróxido de sodio:



donde M^{++} es cualquier metal.

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

Los hidróxidos metálicos son anfotéricos, por ejemplo, su solubilidad se va incrementando en bajos y altos pH y el punto de mínima solubilidad (pH óptimo para la precipitación) se presenta a diferentes valores de pH para todos los metales. A un pH donde la solubilidad de un hidróxido metálico puede ser mínima, en otro, puede ser

relativamente alta. En la mayoría de los casos, un pH entre 9 y 11 seleccionado con base en pruebas o experiencias con el residuo produce una calidad del efluente aceptable.

Para residuos que contienen varios metales pueden requerirse más de un estado de precipitación con diferentes puntos de control de pH para remover todos los metales de interés a los niveles deseados.

Una aplicación de este método de precipitación de hidróxidos se ejemplifica en el cromo, aunque este requiere de un pretratamiento para reducir el cromo hexavalente a su forma trivalente y poder así incrementar el pH hasta aprox. 9 para precipitar el hidróxido crómico.

4.2.4.2. OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN QUÍMICA

Las reacciones de óxido-reducción son aquellas en las cuales el estado de oxidación de un reactante aumenta mientras el estado de oxidación del otro disminuye.

Cuando se quitan electrones de un ion, átomo o molécula la sustancia se oxida, cuando los electrones se adicionan ésta se reduce; ejemplificando, cuando los átomos metálicos (Zn) se convierten a iones metálicos (Zn^{2+}) pierden electrones o se oxidan. Si los iones metálicos (Zn^{2+}) toman electrones, se convierten al átomo metálico (Zn), esto es, se reduce.

Las reacciones de óxido reducción "redox" tienen un papel importante en el tratamiento de residuos debido a que se utilizan en residuos que contienen trazas de metales y residuos tóxicos inorgánicos como los residuos que contienen sulfuros, cianuros y cromo pero también en el tratamiento de algunos residuos tales como fenoles, plaguicidas, etc.

En estos procesos de tratamientos que involucran reacciones químicas generalmente los reactantes están en solución. Sin embargo, en algunos casos se hace reaccionar el residuo acuoso con el reactivo en estado sólido para evitar la formación de mayor cantidad de residuo líquido.

OXIDACIÓN

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 de tratamiento, este tipo de tratamiento es más apropiado

para residuos con un bajo contenido de compuestos orgánicos. Existe una gran variedad de agentes oxidantes.

REDUCCIÓN

La reducción química se puede utilizar para el tratamiento de constituyentes de residuos peligrosos. En el tratamiento de residuos la reducción más aplicada es la del Cr(VI) a Cr(III), ya que el segundo es menos tóxico que el primero y puede precipitarse como hidróxido insoluble para una posterior reducción aunque la reducción química puede llevar los metales a su estado elemental para su recuperación. Este proceso tiene aplicaciones limitadas.

Parece que la reducción a un metal elemental se utiliza ampliamente como norma de pretratamiento adicional a las descargas restringidas de metales. Para la reducción del cromo se usa generalmente el dióxido de azufre y el sulfato ferroso.

Con base en todos estos fundamentos y considerando la tecnología desarrollada a nivel de laboratorio (Montuy, 1997), en los siguientes capítulos se detallan las metodologías seguidas y los resultados obtenidos.

5. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

ANÁLISIS DEL RESIDUO

El residuo en estudio es el generado de la medición del parámetro demanda química de oxígeno (DQO), esta determinación se lleva a cabo en el laboratorio de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA), de la Facultad de Química de la UNAM. Este residuo se encuentra almacenando en dos contenedores de plástico de 200L dentro de las mismas instalaciones.

Para poder plantear un proceso o tratamiento del residuo, lo primero que se necesita es conocer las características de éste, por lo que se hicieron algunas determinaciones que se consideraron importantes, éstas se muestran en la tabla 5.1.

El muestreo para el análisis del residuo se realizó de la siguiente manera: se procedió a la agitación vigorosa de cada tanque, posteriormente se extrajeron muestras de los dos tanques de almacenamiento. Para esto, se tomaron alícuotas de 100 mL con una bomba manual de polietileno sumergiéndola hasta la parte media del tanque y se vertieron en recipientes de plástico de boca ancha, manteniéndose a temperatura ambiente y perfectamente cerrados. Para realizar el muestreo se utilizó el equipo de protección necesario, como son: bata de algodón, cubrebocas y guantes de látex.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL RESIDUO

Algunas características consideradas importantes de este residuo, se presentan a en la tabla 5.1.

TABLA 5.1.- CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO

PARÁMETRO	TANQUE I	TANQUE II
mL muestra	100	100
estado físico	líquido	líquido
temperatura (°C)	20	20
Ph	1	1
Color	verde	verde
olor	picante (ácido)	picante (ácido)

Tomadas las muestras, a cada una se les analizó el contenido de metales, empleando un equipo de espectrofotometría de absorción atómica de la marca Varian, siguiendo las instrucciones del equipo.

Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 5.2. Asimismo, se comparan los resultados con la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.

TABLA 5.2.- CONCENTRACIONES DE LOS METALES PRESENTES EN EL RESIDUO DE DQO

METAL	TANQUE I CONCENTRACION (ppm)	TANQUE II CONCENTRACION (ppm)	CONCENTRACION NOM. (ppm)
PLATA	0.01	0.02	5.0
MERCURIO I	0.1	0.3	0.2
MERCURIO II	469.12	693.77	0.2
CROMO III	123.03	29.35	5.0
CROMO VI	8.48	9.04	5.0

*NOM-052-ECOL-1993 (Diario Oficial de la Federación, 1993)

Considerando las concentraciones obtenidas para cada metal se puede decir que la mayoría sobrepasan los límites máximos permisibles por la normatividad mexicana.

Analizando las concentraciones que presentan los metales plata y mercurio I, se puede observar que dichas concentraciones son muy bajas. La razón estriba en el hecho de que los iones cloruro presentes en el agua hacen que los iones $Ag(I)$ y $Hg(I)$ precipiten casi en su totalidad. Esto se pudo comprobar al extraer todo el residuo líquido del tanque de almacenamiento y observar que el precipitado de $AgCl$ y Hg_2Cl_2 , se encontraba depositado y adherido en el fondo de éste.

5.2. DESARROLLO DE UN PROCESO DE ESTABILIZACIÓN

Conocidas las características del residuo, se desarrolló un proceso mediante el cual se disminuyera las concentraciones tal elevadas de los metales presentes en él.

INSTALACIONES, MATERIAL Y EQUIPO

Debido a la cantidad de residuo que debía tratarse (400L), a las características tan particulares del residuo, especialmente el valor del pH y a condiciones propias del tratamiento, este proceso se efectuó en dos áreas de investigación, la primera fue el Laboratorio de Ingeniería Química (LIQ) de la Facultad de Química de la UNAM. El equipo de operaciones unitarias necesario fue adaptado parcialmente para la realización del proceso. La segunda área fue el propio laboratorio del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA), dentro del conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM.

REACTIVOS

Los reactivos empleados en el proceso fueron los siguientes:

- Ácido clorhídrico grado industrial
- Hidróxido de sodio grado industrial
- Sulfato ferroso amoniacal (FAS), grado industrial
- Ácido sulfúrico, grado industrial

EQUIPO

Los equipos de operación unitarios utilizados fueron los siguientes:

- Tanque de acero inoxidable enchaquetado con agitación de 150L de capacidad
- Centrifuga modelo Cryofuge 6-6, marca Heraeus Christ, con capacidad para 4 recipientes de un litro cada uno
- Equipo de espectrofotometría de absorción atómica Varian-Espectra 400

MATERIAL

Para el desarrollo del proceso fue necesaria la utilización de diversos materiales y accesorios como son:

- 2 tambores de polietileno de alta densidad con capacidad de 200L
- 4 tambores de polietileno con capacidad de 60L
- 1 tambor de polietileno de alta densidad
- Una bomba manual de polietileno
- 2 m. de manguera de 2.54cm
- 2 cubetas de plástico de 10 litros de capacidad
- Papel pH
- Pipeta graduada de 10 mL
- Vaso de precipitados de 100 mL
- Vaso de precipitados de 1000 mL
- Vaso de precipitados de 4L

SERVICIOS

Los servicios necesarios para el desarrollo de este proyecto fueron :

- Agua de enfriamiento
- Agua para limpieza
- Electricidad 110 y 220 V

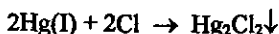
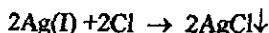
5.3. PROCESO DE ESTABILIZACIÓN

Para estabilizar el residuo proveniente de la medición del parámetro de DQO, se efectuó el proceso en dos etapas. En cada una de ellas se efectuaron diversas operaciones. Estas etapas se detallan a continuación:

ETAPA 1. LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

i).- Alimentar el tanque de acero inoxidable con el residuo líquido agregando un volumen de 30 L. Esta alimentación se efectúa con ayuda de una cubeta de plástico conteniendo el residuo y una bomba manual de polietileno para verter el residuo dentro del tanque.

ii).- Con agitación constante adicionar una solución 2N de ácido clorhídrico. Se agregan 600 mL de esta solución con ayuda de un vaso de precipitados, se mantiene la agitación durante 15 minutos; llevándose a cabo las siguientes reacciones:



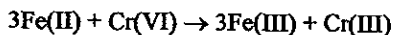
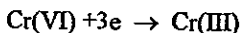
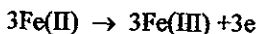
iii).- Dejar precipitar el sólido formado (AgCl y Hg_2Cl_2) y decantar abriendo la válvula de salida del tanque, extrayendo la fase líquida y depositándola en un tanque de polietileno de 60 L.

iv).- Recolectar el precipitado, depositado en el fondo del tanque, con una espátula y almacenarlo en un recipiente adecuado.

v).- Realimentar la fase líquida al tanque de reacción. Esto se realiza de la forma ya mencionada.

vi).- Agregar 600 g de sulfato ferroso amoniacal (FAS), por sus siglas en inglés. Realizado esto se suministra agitación constante durante 15 minutos; esto es efectuado para la reducción del Cr(VI) a Cr(III) .

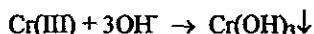
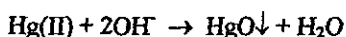
La reacción es la siguiente:



vii).- Sin detener la agitación, adicionar una solución 8M de hidróxido de sodio. Se agrega un volumen de 15L, colocándolo en una cubeta de plástico y vertiéndolo al tanque con una bomba manual de polietileno.

Es importante señalar que la adición de esta solución debe hacerse lentamente, ya que como se lleva a cabo una neutralización la reacción es exotérmica, por lo que si es agregada rápidamente se pueden proyectar porciones de líquido caliente.

Las reacciones que se efectúan son la siguiente:



viii).- Medir el pH de la solución, éste se mide abriendo ligeramente la válvula de salida del tanque de reacción, extrayendo una pequeña cantidad de residuo colocándolo en un vaso de precipitados, en éste es introducido papel pH, obteniendo la lectura. Se busca obtener un $\text{pH}=10$ ¹.

Si por error personal, el pH exceda el valor de 10 se recomienda agregar ácido sulfúrico concentrado, hasta que éste se ajuste al valor requerido.

ix).- Suministrar al tanque de reacción agua de enfriamiento. Esto se realiza para reducir la temperatura de la reacción, ya que como se mencionó anteriormente es exotérmica, por lo que alcanza temperaturas hasta de 60°C.

x).- Vigilar la estabilización de la temperatura. Verificar mediante un termómetro la disminución de la temperatura hasta que ésta alcance una $T=30^\circ\text{C}$ ².

xi).- Verter el desecho líquido en un tambor de 60L. Se abre la válvula de salida del tanque colocando en ella la boca del recipiente mencionado, dejando fluir libremente.

xii).- Trasladar el tanque con el líquido reaccionante al Laboratorio de Química Ambiental.

ETAPA 2. LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL

xiii).-Extraer del tambor mediante una bomba manual de polietileno el producto de la reacción efectuada al residuo, colocándolo en un vaso de precipitados de plástico con capacidad de 4 litros.

¹ En la metodología analítica (Montuy, 1997), se recomienda un $\text{pH}=9.5$; sin embargo, con las dificultades técnicas que esta medición representa a nivel de planta piloto, se decidió aproximar este valor al número entero próximo inmediato ($\text{pH}=10$).

² Esta temperatura de 30°C fue seleccionada así ya que al efectuar el traslado del Laboratorio de Ingeniería Química al Laboratorio de Química Ambiental, la temperatura del residuo disminuye y una de las dificultades que presenta la reacción efectuada es, que si se encuentra por un tiempo prolongado a la temperatura ambiente comienza a cristalizar; es por esto que se pretende que, al comenzar la siguiente etapa, la temperatura de la reacción apenas se iguale con la del ambiente.

xiii).- Verter en los 4 recipientes correspondientes a la centrifuga (cada uno con capacidad de 1L), el residuo y centrifugar a 3000 R.P.M., a una temperatura de -10°C y durante un tiempo de 5 minutos. Este paso se repite hasta separar todo el lote en tratamiento.

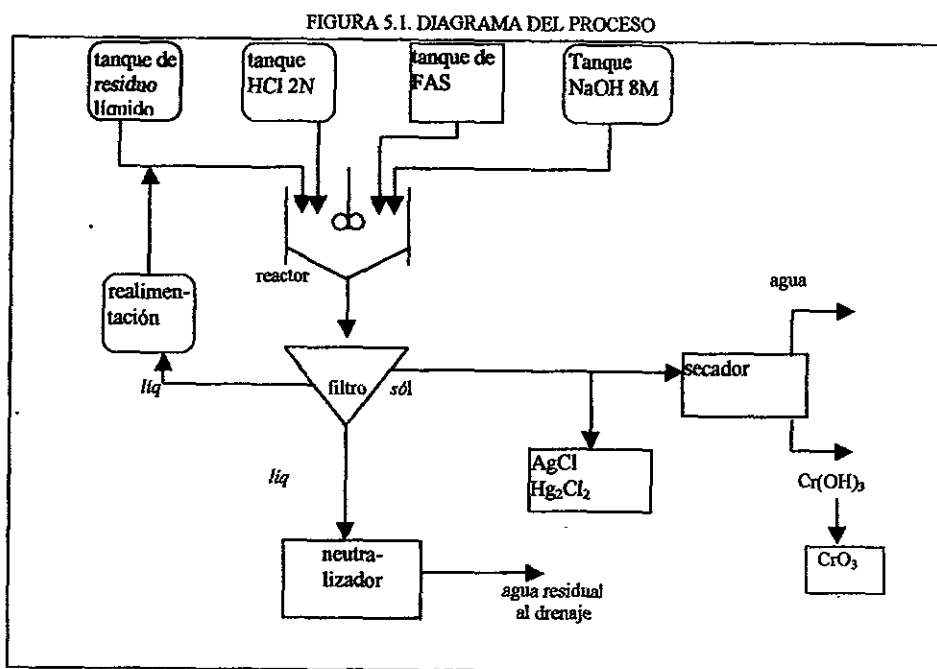
xiv).- Disponer el precipitado obtenido en charolas de metal colocando antes un hule grueso (hule cristal No.4), en el fondo para evitar que el lodo se adhiriera a la charola.

xv).- Colocar la charola en una placa de calentamiento a 75°C durante 4 días.

xvi).- Una vez seco el lodo se coloca en un recipiente adecuado par su almacenamiento.

xvii).- Neutralizar el líquido resultante de la centrifugación, adicionando H_2SO_4 concentrado hasta llevarlo a un $\text{pH}=7$; entonces, previo análisis, se podrá verter al drenaje.

La figura 5.1 presenta el diagrama esquemático del proceso global.



5.4. RESULTADOS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN

Para obtener resultados de la aplicación del proceso de estabilización, se realizó nuevamente un análisis en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, se tomaron de nueva cuenta alícuotas de la fase líquida resultante de cada fase del proceso, observándose las concentraciones finales de los metales presentes en el residuo; para que de esta manera se verificara qué efecto causó el proceso en tales concentraciones y así, comparar las concentraciones finales con las permitidas por la norma NOM-052-ECOL-1993, comprobando si ésta se cumple.

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 5.3.

TABLA 5.3.- CONCENTRACIONES DE LOS METALES EN EL RESIDUO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN

METAL	TANQUE I CONCENTRACIÓN (ppm)	TANQUE II CONCENTRACIÓN (ppm)	CONCENTRACIÓN NOM* (ppm)
PLATA	0.01	0.01	5.0
MERCURIO I	0.1	0.1	0.2
MERCURIO II	41.70	55.35	0.2
CROMO III	0.05	0.03	5.0
CROMO VI	0.03	0.07	5.0

*NOM-052-ECOL-1993 (Diario Oficial de la Federación, 1993)

Como se puede observar las concentraciones de los metales en disolución disminuyeron considerablemente, así también se observa que se encuentran dentro de los límites permitidos por la normatividad. Las excepciones fueron las concentraciones de Hg(II) las cuales, aunque disminuyeron drásticamente, en más del 90%, sus valores siguen excediendo la norma. Esto significa que debe buscarse otro método complementario que reduzca su concentración al límite máximo permisible, la cual podría consistir en una nueva precipitación. Esta nueva etapa se aplicaría a partir del último residuo líquido (residuo de la neutralización).

Así también, se compararon los resultados obtenidos con la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-96, ya que, como se mencionó anteriormente, el agua residual obtenida al final de la aplicación del proceso se descargará al drenaje, por lo que se tiene que evaluar si se respeta esta norma.

De esta forma, se realiza la comparación en la tabla 5.4.

TABLA 5.4.- COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES FINALES DE LOS METALES EN EL RESIDUO CON NORMA ECOLÓGICA

METAL	TANQUE I CONCENTRACIÓN (ppm)	TANQUE II CONCENTRACIÓN (ppm)	CONCENTRACIÓN NOM* (ppm)
PLATA	0.01	0.01	--
MERCURIO I.	0.1	0.1	0.01
MERCURIO II	41.70	55.35	0.01
CROMO III	0.05	0.03	2.5
CROMO VI	0.03	0.07	2.5

*NOM-002-ECOL-1996 (Diario Oficial de la Federación, 1997)

Como puede observarse el metal plata no tiene un valor que lo limite, por lo que su espacio queda en blanco. Con respecto al metal mercurio puede analizarse que excede los límites máximos permisibles en ambos estados de oxidación, por lo que debe buscarse alguna alternativa para que se respeten los límites de esta norma. Finalmente, en lo concerniente al cromo, puede verse que estas concentraciones en sus diferentes estados de oxidación se encuentran por debajo de la norma establecida.

5.5. PORCIENTO DE SEPARACIÓN

Un parámetro para observar la eficiencia del proceso aplicado, es el porcentaje de separación de los metales presentes en el residuo. Este valor indica la eficiencia de eliminación de los metales del residuo líquido.

El porcentaje de separación se calculó de la siguiente manera

$$\% \text{ SEPARACIÓN} = [(C_i - C_f) / C_i] * 100$$

donde:

C_i = concentración inicial

C_f = concentración final

De esta forma se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5.5.

**TABLA 5.5.- PORCIENTO DE SEPARACIÓN DE LOS METALES PRESENTES
EN EL RESIDUO DEL ANÁLISIS DE LA DQO**

METAL	TANQUE I % SEPARACIÓN	TANQUE II % SEPARACIÓN
PLATA	---	---
MERCURIO I	---	---
MERCURIO II	91.11	94.154
CROMO III	99.95	99.89
CROMO VI	99.64	98.22

Como puede apreciarse en la tabla anterior los metales separados mediante este proceso presentan un alto porcentaje de recuperación, lo cual indica que la aplicación de éste presenta resultados satisfactorios.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los metales encontrados por medio del análisis en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica del residuo líquido proveniente de la medición del parámetro de la DQO, fueron: *Ag(I)*, *Hg(I)*, *Hg(II)*, *Cr(III)* y *Cr(VI)*.

Estos metales se encontraban en altas concentraciones en los dos tanques de almacenamiento, las cuales sobrepasaban los niveles máximos permisibles por la normatividad mexicana, considerandose así como un residuo peligroso de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993. Las excepciones, como se pudo observar, fueron las concentraciones de *Ag(I)* y *Hg(I)*, debido a la presencia de cloruros en el agua. Otro factor importante a considerar puede ser el tiempo que el residuo se mantuvo en almacenamiento.

Como resultado del proceso anteriormente descrito un residuo líquido altamente corrosivo y tóxico fue transformado en cloruro de plata, cloruro mercurioso, óxido mercúrico e hidróxido de cromo. El rendimiento del proceso se puede analizar en el porcentaje de separación de los metales, el cual alcanza un valor alto (98% en promedio) lo cual indica que la aplicación de este proceso fue adecuada. Solamente el mercurio (II) no pudo ser reducido hasta niveles que cumplan con la normatividad. Se está ya trabajando en esta última fase para eliminar el remanente de mercurio (II) con objeto de realmente eliminar todos los contaminantes del residuo.

En la aplicación de la norma NOM-002-ECOL-96, para el agua residual obtenida al final del proceso, puede verse que las concentraciones del metal cromo, en sus diferentes estados de oxidación, se encuentran por debajo de la norma. Por el contrario, las concentraciones del mercurio exceden los límites máximos permisibles en ambos estados de oxidación, por lo que no es posible verter el agua residual libremente al drenaje; así que se debe desarrollar alguna alternativa para que se respeten los límites de esta norma.

Con objeto de evaluar cualquier sistema propuesto, como el que fuera desarrollado en este proyecto, generalmente se toma en cuenta la disponibilidad de la infraestructura (ver tabla 6.1).

TABLA 6.1.- INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE

	NIVEL DE LABORATORIO	NIVEL DE PLANTA PILOTO
Instalaciones	Disponibles	adaptar y/o construir
Viabilidad económica	Generalmente sí	generalmente sí
Dificultad	no existe	problemas por escalamiento
Estudio de caso: solución	Resuelto	resuelto

Como se observa en la tabla anterior, existe disponibilidad en todos sentidos para la instalación de una planta con dichas características, por lo que se puede decir que no existen grandes dificultades para la instalación de la misma.

7. CONCLUSIONES

El proceso propuesto para estabilizar un residuo líquido peligroso generado dentro del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental, tomó en cuenta: las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los componentes del residuo, el volumen de residuo acumulado, el equipo disponible en las dos áreas de trabajo y, principalmente, la metodología analítica ya mencionada.

Mediante este proceso se lograron separar los metales a los cuales se les puede dar un reuso o una disposición final adecuada.

Como se observó, el Hg fue el único metal que no cumplió con la norma NOM-052-ECOL-1993 así como con la NOM-002-ECOL-96, es decir, excede los límites máximos permisibles establecidos para este metal. Esto significa, que debe buscarse otro método complementario que reduzca la concentración del Hg hasta encontrarse dentro de los límites establecidos por ambas normas. Esta nueva etapa podría partir del último residuo líquido generado (salida del neutralizador). De hecho, esta fase se encuentra ya en estudio en el grupo de investigación.

El proceso desarrollado conforma una solución prototipo que puede aplicarse a otros residuos, ya sea provenientes de la misma fuente o con características similares a éste, es decir, que en ellos se encuentren los metales: Cr(VI), Cr(III), Hg(I), Hg(II) y Ag(I).

Este tipo de procesos no son únicamente aplicables a la Facultad de Química, sino a otras dependencias de esta universidad como la Facultad y el Instituto de Ingeniería, la FES Zaragoza, Las ENEP Aragón e Iztacala, la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, etc; también puede aplicarse a instituciones que tengan laboratorios analíticos, enseñanza experimental e industrias químicas y de procesos en general (IMTA, DGCOH-DDF, etc).

El desarrollo del proceso para el tratamiento de residuos es una alternativa para evitar la acumulación de éstos. Este proyecto pretende que la ingeniería tienda a la creación de procesos limpios los cuales generen la mínima cantidad de desechos, creando así una conciencia ecológica (Oaxaca, 1997). Esto, evidentemente, requiere de un tiempo razonable; por ello, a corto plazo, una buena opción es la de estabilizar los residuos e incluso, generar subproductos reutilizables para hacer los procesos de estabilización atractivos a los responsables de la generación de los desechos.

Considerando que se creara una empresa que trabaje para beneficio de la comunidad, se necesitaría optimar el proceso de producción para lograr que este sea más rentable para que realmente se considerara como una opción al tratamiento de residuo proveniente de la medición del parámetro de la DQO, evitando con esto el incremento de residuo en confinamiento.

Puede concluirse que este proyecto muestra la importancia de la Ingeniería Química en el campo de la conservación del ambiente, para lograr procesos controlados, con rendimientos aceptables y económicamente viables.

BIBLIOGRAFÍA

ARMENDÁRIZ, S.O. 1997. Programa para la minimización y manejo integral de residuos industriales en México (1996-2000). En memorias "Tercer Seminario Internacional de Expertos en el Tratamiento de Efluentes Industriales y Residuos". Pub. PIQAYQA-Facultad de Química UNAM / INE. México D.F., México.

ANIQ. 1991. Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana. Asociación Nacional de la Industria Química México D.F., México.

BATSTONE, R, SMITH, J.y WILSON, D (eds.). 1989. The safe disposal of hazardous waste. The special needs and problems of developing contries. The World Bank, World Bank Technical Paper Number 98), vol. 1. Pp. 20-30. Washington, EEUUA.

BAZÚA. M.C. 1994. Reutilización de residuos ácidos de cromo: Una tecnología limpia. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 27-40. México D.F., México.

BORJA, J. M. 1985. Determinación de metales pesados (plomo, mercurio, arsénico, cobre, cadmio) en sangre y orina. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp 20-33. México D.F., México.

CARMONA, L. M. C., 1993. Los problemas ambientales y la legislación ambiental y ecológica en México. En Modernización del derecho mexicano. Reformas constitucionales y legales. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Pub. UNAM / PGJDF / DGAJPR. México,D.F. México.

CORTINAS-DE-NAVA, C. 1992. Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional.. Serie monográfica núm. 1. SEDESOL. México, D.F. México.

CRUZ, A. 1993. Técnicas de incineración de materiales contaminantes. En memorias "Manejo de residuos industriales". Facultad de Química, UNAM, abril de 1993. México D.F., México.

Diario Oficial de la Federación. 22 de Octubre, 1993. Segunda Sección. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. SEDESOL. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental. Pp. 4-30. México D.F., México.

Diario Oficial de la Federación. 9 de Enero, 1996. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. SEDESOL. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental. Pp. 11-15. México D.F., México.

DÍAZ-BARRIGA, F. 1991. Evaluación de los efectos en la salud de la estación de transferencia para residuos peligrosos "La Pedrera", localizada en Guadalcázar, S.L.P. Informe técnico. Pub. UNAM. México D.F., México.

Encyclopedia of Chemical Processing and Design. 1981. Mc Ketta Ed Vol 12. Washington, EEUUA

FERNÁNDEZ, G. 1992. Procesos de tratamiento para residuos peligrosos. En memorias I Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM. Octubre, 1992. UNAM. México D.F., México.

GONZÁLEZ, H. 1976. Recuperación de plata a partir de jales. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp 57-63. México D.F., México.

GUZMÁN, M. A. 1996. Medidas de seguridad e higiene en el manejo de residuos peligrosos. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. Pp. 17-29. México D.F., México.

HEATH, C.W. 1983. Field epidemiologic studies of populations exposed to waste dumps. Environ Perspect, Núm 43. Pp. 3-7. EEUUA.

INE. 1993. Dirección General de Normatividad Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. México D.F., México.

INEGI. 1989. XIII Censo Industrial Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. México D.F., México.

JAUGE, P. P. 1992. Diagnóstico de desechos. En memorias de la I Reunión Anual del Programa Universitario del Medio ambiente, UNAM. Vol I. Octubre, 1992. Pub. UNAM. México D.F. México.

LGEEPA, 1997. Ley General de Equilibrio ecológico y Protección al ambiente. Poder Ejecutivo Federal. México D.F., México.

MIYASAKO, E. 1992. Legislación, reglamentación, normalización y movimiento transfronterizo. En memorias de la I Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM. Vol. I. Octubre, 1992. Pub. UNAM. México D.F. México

MONTUY, R. 1997. Proceso físico-químico para eliminar plata, mercurio y cromo del residuo generado en la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México D.F., México.

NRC. 1991. Environmental epidemiology: Public health and hazardous waste. National Academy Press. National Research Council Washington. EEUUA.

OAXACA, A.M. 1997. Estudio comparativo para la determinación de la demanda química de oxígeno entre el método estándar reflujo abierto y el método rápido colorimétrico de reflujo cerrado. Tesis profesional, Instituto Tecnológico de Orizaba. Veracruz, México.

PETERS, M.S. y TIMMERHAUS, K.D 1980. Plant design and economics for chemical engineers. Mc Graw-Hill Book Co.Inc. Pp 147-190. Nueva York, EEUUA.

RIÓN, A.R. 1993. Tratamiento de residuos peligrosos II. En memorias "Manejo de residuos industriales". Pub Facultad de Química, UNAM, Abril 1993. México D.F., México.

RIVERO, S.O. 1992. Ambiente y salud. En memorias de la I Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM". Vol I. Octubre, 1992. Pub. UNAM. México, D.F., México

SANS, F.R. 1989. Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos. Marcombo Boixareu editores. Pp 93-134. Barcelona, España.

SARMIENTO-OJEDA. 1993. Separación de metales pesados en aguas residuales provenientes de la regeneración de resinas de intercambio iónico. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. Pp. 1-3. México D.F., México.

SEDESOL. 1993. Residuos peligrosos en el mundo y en México. Serie Monografías, núm. 3. México D.F., México.

SEDESOL. 1992. National Report on Environment (1989-1991) for the United Nations Conference on Environment and Development. Summary. México D.F., México.

SEDUE. 1990. Dirección general de prevención de la contaminación ambiental. Dirección de Operaciones. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México D.F., México.

SIMMONS, I.G. 1982. The ecology of natural resources. Edward Arnold (Publishers). Pp. 290-323. Londres, Reino Unido.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (SIN CITAS EN EL TEXTO)

APHA. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. AWWA APHA. WPCF, 16va. ed. Washington, D.C. EEUUA.

- BRETHEKICK, L. 1993. Handbook of Reactive Chemical Hazards. 2a Ed. Butterworths Ed. Londres, Inglaterra.
- CONADE. 1992. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. Comisión Nacional de Ecología. SEDESOL. México D.F., México.
- DDF. 1992. Estudio de prefactibilidad de la gestión de los residuos tóxicos y peligrosos en la zona metropolitana de la Ciudad de México, informe final. Vols I y II. Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. México D.F., México.
- DEL MORAL, L. 1991. Diseño de una planta piloto para procesar residuos de la planta de Cromatos de México. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM. México D.F., México.
- DOMINGUEZ, G. 1983. Una perspectiva industrial sobre manejo de residuos peligrosos. Industria y Medio Ambiente. Publicación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (PNUMA) Número especial. Pp. 23-25. México D.F., México.
- GARRET, D. 1989. Chemical Engineering Economics. Van Nostrand Reinhold. Pp. 13-41. Washington, EEUUA.
- GRIFFITH, L. 1989. Cancer mortality in US countries with hazardous waste sites and ground water pollution. Arch. Env. Health, núm. 44. Pp. 69-74. Washington, EEUUA.
- GRISHAW, J.W. 1986. Health aspects of the disposal of waste chemicals. Pergamon Press. Pp. 27-31. Nueva York, EEUUA.
- Handbook of the toxicology of metals, 1990. Lard Friberg, 2a ed., vol II. Pp. 524-529. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Handbook of industrial toxicology. 1974. Chemical Publishing Company Inc. Pp 438-439. Nueva York, EEUUA.
- MANAHAN, S.E. 1990. Hazardous waste chemistry, toxicology and treatment. Lewis Publishers. Pp 235-237. Washington, EEUUA.
- NEUTRA, R. y LIPSCOMB, J. 1991. Hypotheses to explain the symptom rates observed around hazardous waste sites. Env. Health Perspect, Núm. 94. Pp. 31-38. Nueva York, EEUUA.
- MONTERO, R. 1992. Monitoreo de daños genotóxicos en trabajadores de una estación de transferencia de desechos industriales. En memorias de la I Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM. Vol. 2. Octubre, 1992., Pub. UNAM. México D.F. México.

- ORTÍZ, M. F. 1987. Manejo de los desechos industriales peligrosos en México. Universo Veintiuno. Pp. 60-63. México D.F., México.
- PETERS, M. 1958. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. Pp 18-41. Nueva York, EEUUA.
- PINTELON, L. y VAN PUYVELDE, F. 1997. Estimating plant construction cost. Chemical Engineering. Pp. 98-102. Agosto, 1997.
- RIVERO, O. 1996. Riesgos ambientales para la ciudad de México. Pub. UNAM. Programa Universitario del Medio Ambiente. Pp 515-545. México D.F., México.
- SEDUE. 1989. Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México. Serie Monografías, núm. 3. México D.F., México.
- STALLONE, L. 1992. Surveillance around hazardous waste sites: Geographic information systems and reproductive outcomes. Env. Res., núm. 59. Pp. 81-92. Washington, EE.UU.A.
- VARIAN. 1989. Analytical methods flame atomic absorption spectrometry. Mulgrave Victoria. Australia.

ANEXO A

CONSTITUYENTES QUE HACEN PELIGROSO UN RESIDUO POR SU TOXICIDAD
AL AMBIENTE (FRAGMENTO DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-
ECOL-1993)

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS.	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA (mg / L)
ARSÉNICO	5.0
BARIO	100.0
CADMIO	1.0
CROMO HEXAVALENTE	5.0
NIQUEL	5.0
MERCURIO	0.2
PLATA	5.0
PLOMO	5.0
SELENIO	1.0

CONSTITUYENTES ORGÁNICOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA (mg / L)
ACRILONITRILO	5.0
CLORDANO	0.03
o-CRESOL	200.0
m-CRESOL	200.0
p-CRESOL	200.0
ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACETICO	10.0
2,4-DINITROTOLUENO	0.13
ENDRIN	0.02
HEPTACLORO	0.008
HEXACLOROETANO	3.0
LINDANO	0.4
METOXICLORO	10.0
NITROBENCENO	2.0
PENTACLOROFENOL	100.0
2,3,4,6-TETRACLOROFENOL	1.5
TOXAFENO	0.5
2,4,5-TRICLOROFENOL	400.0
2,4,6-TRICLOROFENOL	2.0
ÁCIDO 2,4,5-TRICLOROFENOXIPROPIONICO	1.0

CONSTITUYENTE ORGANICO VOLÁTIL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA (mg/L)
BENCENO	0.5
ETER BIS	0.05
CLOROBENCENO	100.0
CLOROFORMO	6.0
CLORURO DE METILENO	8.6
CLORURO DE VINILO	0.2
1,2-DICLOROBENCENO	4.3
1,4-DICLOROBENCENO	7.5
1,2-DICLOROETANO	0.5
1,1-DICLOROETILENO	0.7
DISULFURO DE CARBONO	14.4
FENOL	14.4
HEXACLOROBENCENO	0.13
HEXACLORO-1,3-BUTADIENO	0.5
ISOBUTANOL	36.0
ETILMETILCETONA	200.0
PIRIDINA	5.0
1,1,1,2-TETRACLOROETANO	10.0
1,1,1,2-TETRACLOROETANO	1.3
TETRACLORURO DE CARBONO	0.5
TETRACLOROETILENO	0.7
TOLUENO	14.4
1,1,1-TRICLOROETANO	30.0
1,1,2-TRICLOROETANO	1.2
TRICLOROETILENO	0.5

ANEXO B

METODOLOGÍA ANALÍTICA (Montuy, 1997)

TRATAMIENTO PARA EL RESIDUO PROCEDENTE DE LA DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO (DQO)

- 1) Utilizar bata de algodón , guantes de látex y lentes de protección.
- 2) Colocar 1 L. residuo en un vaso de precipitado de plástico 4 L.
- 3) Agregar 20 mL. De Ácido Clorhídrico 2 N. (Bajo la campana).
- 4) Agitar durante 1 minuto por medio de un agitador de vidrio (bajo la campana).
- 5) Centrifugar el residuo a 3500 R.P.M., -10 °C, durante 5 minutos.
- 6) La fase líquida se coloca en un vaso de precipitado de plástico de 4 L.
- 7) La fase sólida es colocada en un envase de plástico exclusivo para esto.
- 8) A la fase líquida obtenida en el paso 6 se le agregan 20 g. de Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS) grado industrial y se agita durante 5 minutos por medio de un agitador de vidrio (bajo la campana).
- 9) Agregar hidróxido de sodio (NaOH) 8 N, hasta pH = 9.5 (bajo la campana).

NOTA 1: Para poder realizar el paso anterior adecuadamente se deben considera los siguientes puntos:

- a) Agregar el hidróxido de sodio (aprox. 500mL. para el pH requerido) lentamente (bajo la campana) debido a que la reacción es muy exotérmica y violenta .
- b) Dejar enfriar durante 5 minutos aproximadamente en la campana o el tiempo necesario para que alcance la temperatura ambiente.
- c) Una vez frío se lleva al potenciómetro, se mide el pH y se agrega el hidróxido de sodio 8 N. necesario para ajustar el pH.
- d) Si por alguna razón el pH es mayor de 9.5 se debe agregar ácido sulfúrico concentrado hasta obtener el pH deseado.
- e) Durante las adiciones de hidróxido de sodio o de ácido sulfúrico se debe estar agitando constantemente mediante un agitador de vidrio.

- 10) 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 5 minutos .
- 11) El residuo líquido es colocado en un vaso de precipitado de plástico de 4 L. y se le agrega ácido sulfúrico concentrado hasta un pH = 7 (se necesitan aprox. 1.5 mL.).
- 12) Una vez neutralizado el residuo líquido y mediante previo análisis puede ser vertido al drenaje .
- 13) El residuo sólido es colocado en una charola de metal a la cual se le coloca un plástico grueso.
- 14) En una parrilla de calentamiento a 75 °C se coloca la charola con el residuo durante 24 horas para que este se seque .
- 15) Una vez seco el residuo es colocado en un recipiente exclusivo para su almacenamiento.

ANEXO C

ESTUDIO FINANCIERO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL RESIDUO DE LA DQO

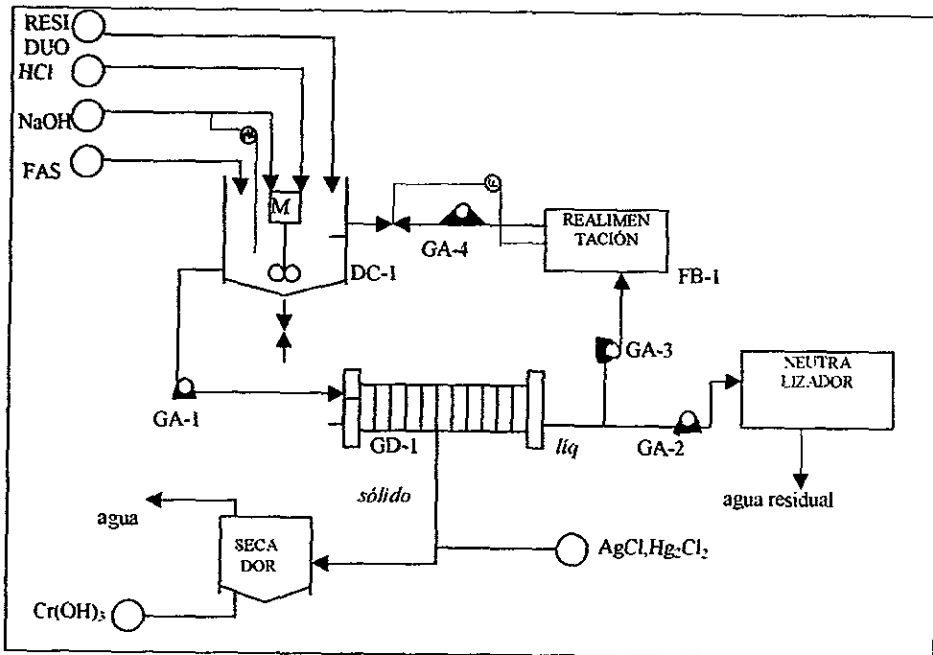
A continuación se realizará el estudio financiero preliminar de una planta para el tratamiento del residuo de la DQO, en donde se analizarán algunos de los elementos necesarios para la instalación de la misma; como son: análisis del proceso, ubicación, descripción y distribución de la planta, estimación de sus costos, etc.; así también se obtendrán los parámetros necesarios para saber si es viable la instalación de esta planta (figura C.1). Cabe señalar que este estudio es un primer acercamiento al problema tratado, por lo que en análisis próximos se pudieran realizar mejoras a lo aquí propuesto, como pueden ser al equipo, al material del que esta hecho, a la distribución, etc.

C.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso para la estabilización de un residuo líquido peligroso proveniente de la medición del parámetro DQO, consta de tres etapas principales. La primera etapa consiste en la precipitación de Ag(I) y Hg(I), como cloruros. En la segunda etapa se realiza la reducción de Cr(VI) a Cr(III), mediante una reacción con sulfato ferroso amoniacal.

Con la tercer etapa se precipitan los metales Hg(II) y Cr(III) adicionando NaOH hasta un pH=10.

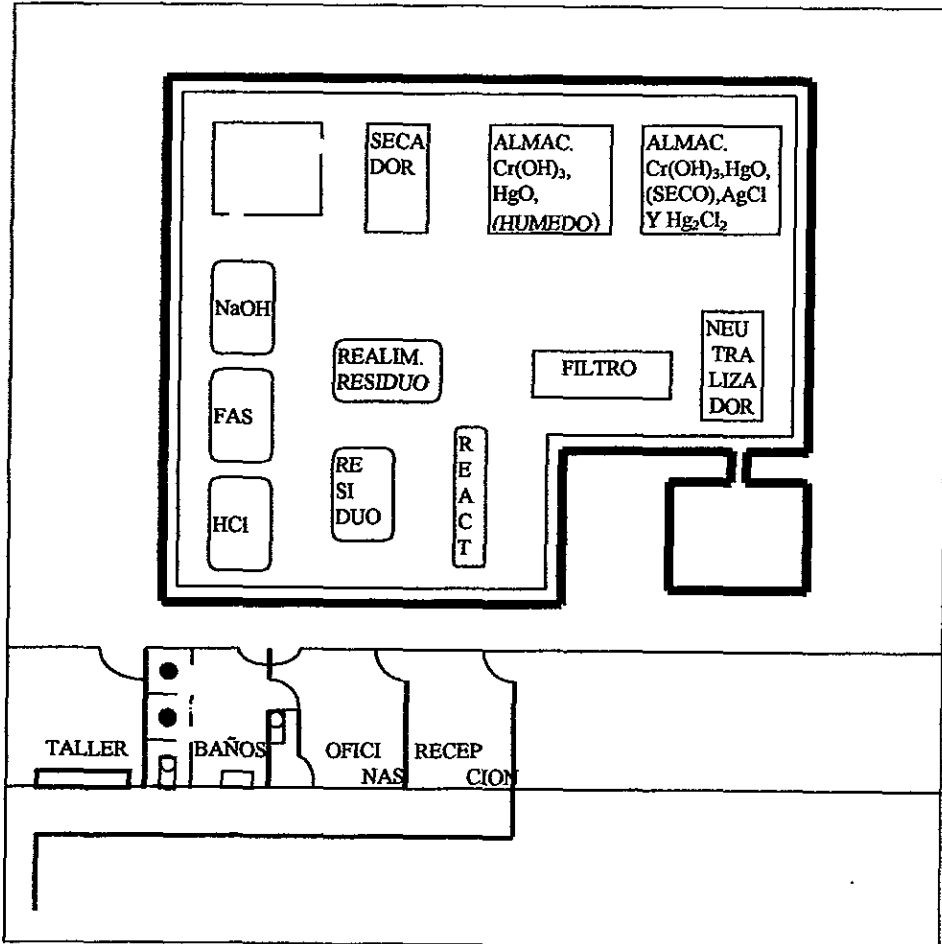
FIGURA C.1 DIAGRAMA DEL PROCESO



C.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta se construirá en el Distrito Federal dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria y recibirá inicialmente, los residuos generados de la determinación del parámetro demanda química de oxígeno, de los laboratorios de la UNAM donde se realice esta medición. La distribución de la planta se ilustra en la figura C.2.

FIGURA C.2.- DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA



La base de cálculo se establece considerando la cantidad de residuo producido por el laboratorio de Ingeniería Química ambiental y Química Ambiental (200L/mes), los cuales almacenados durante un lapso de 10 meses, da como resultado un volumen a tratar de 2000L. Los precios se tomaron al 30 de agosto de 1997, con una tasa de cambio de 7.93 pesos por cada dólar americano. Para fines de cálculo, la planta operará dos meses

hábiles (48 días =768 horas) que es el tiempo estimado para estabilizar la cantidad de residuo mencionado.

Los servicios serían:

- Electricidad : corriente trifasica con carga máxima de 8 kW (suministrada por la *Compañía de Luz y del Centro*)
- Drenaje: -doméstico
-industrial
- Agua (suministrada por el Departamento del Distrito Federal)
- Aire comprimido (suministrado por la misma planta)

Se contaría con 5 trabajadores por turno y se trabajarán dos turnos.

C.3. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA PLANTA DE PROCESO

ESTIMACIÓN DEL COSTO DEL CAPITAL DE INVERSIÓN FIJA

El cálculo de la inversión fija se realizó utilizando rangos de costos de los componentes de la planta de procesamiento. Este método tiene una exactitud del $\pm 30\%$.

La información con la que se debe de contar es la siguiente:

- 1.- Localización de la planta
- 2.- Bosquejo del diagrama del proceso
- 3.- Lista del equipo del proceso, dimensionamiento preliminar y especificaciones de los materiales
- 4.- Dimensionamiento preliminar de los edificios y tipo de construcción
- 5.- Aproximación de los requerimientos de servicios
- 6.- Diagrama de la planta y especificaciones preliminares de la tubería
- 7.- Lista preliminar de los motores eléctricos y tamaños aproximados
- 8.- Horas hombre de ingeniería y diseño

Esta información se enumera a continuación:

- 1.- Localización de la planta: Distrito Federal (2240m s.n.m.)
- 2.- Bosquejo del diagrama de flujo de proceso (ver sección C.1)
- 3.- Lista del equipo de proceso, dimensionamiento preliminar y especificaciones de los materiales:

Tanque de almacenamiento de acero inoxidable con una capacidad de 4000L(FB-1)
Reactor de acero inoxidable con agitación con una capacidad de 200L(DC-1)
Filtro prensa de acero inoxidable con un volumen de torta de 7L. (GD-1)
Bomba centrífuga de acero inoxidable con motor de 1 HP (GA-1,GA-2, GA-3, GA-4)
Secador por aspersion de acero inoxidable para una alimentación de 15L/h

4.- Dimensionamiento preliminar de los edificios y tipo de construcción: la construcción constará de dos edificios, uno de ellos se utilizará para la planta de procesamiento y el otro para oficinas (ver sección C.2),

5.- Aproximación de los requerimientos de servicios: se requiere servicios de agua, drenaje, aire comprimido, y electricidad. El servicio de agua será de 1000L/día. Existirán dos tipos de drenaje, el industrial y el doméstico. El drenaje industrial se colectará en una fosa para su posterior análisis (800L/2 meses, después de todo el proceso). El drenaje doméstico se enviará al drenaje municipal a una razón de 900L/día. El servicio de aire se suministrará por medio de una compresora de 1HP, El requerimiento de electricidad será de 8kW de carga máxima.

6.- Diagrama de la planta y especificaciones preliminares de la tubería: el diagrama de la planta se muestra en la figura C.2 y la tubería será de PVC hidráulico de 2in de diámetro exterior.

7.- Lista preliminar de los motores eléctricos y tamaños aproximados: se necesitan cinco motores de 1HP para las cinco bombas centrífugas y el compresor .

8.- Horas hombre de ingeniería y diseño: debido al tamaño de la planta no se considera este punto.

Posteriormente, para realizar el cálculo del capital de inversión fija, es necesario tomar en cuenta los detalles del proceso químico, sus costos directos y sus costos indirectos.

A. Costos directos:

1. Compra de equipo: todo el equipo listado así como las piezas de repuesto, las piezas del equipo no instaladas, el equipo sobrante, suministros y asignación, costos por inflación, por flete, por impuestos, por servicios y, por último, los requerimientos de equipo para el arranque de la planta .

2. Instalación del equipo comprado: instalación del equipo comprado listado en el diagrama de proceso, soportes estructurales, aislamiento y pintura de los mismos.

3. *Instrumentación y controles*: compra, instalación, calibración y encadenamiento a la computadora.

4. *Tubería*: tubería de proceso (acero al carbón, aleaciones, hierro fundido, plomo, aluminio, cobre, cerámica, plástico, hule, *concreto reforzado*, aislamiento), sujetadores, uniones válvulas y equipo de aislamiento de la tubería.

5. *Equipo y materiales eléctricos*: equipo eléctrico (interruptores, motores, conductos, alambres, uniones, alimentadores, tierra instalaciones de los instrumentos y control, alumbrado y paneles), material eléctrico y mano de obra.

6. *Edificios (incluyendo servicios)*: construcción de los edificios de proceso (subestructuras, superestructuras, plataformas, soportes, escaleras, vías de acceso, grúas, monoríles, montacargas y elevadores), de los auxiliares (oficinas administrativas, servicio médico, cafetería, estacionamiento, almacén de productos terminados y de refacciones, estación de bomberos, de guardia y seguridad, vestidores, edificios de personal, oficinas de envío y plataforma y laboratorio de investigación y control), de talleres de mantenimiento (eléctrica, tubería, láminas, maquinaria, carpintería, soldadura e instrumentos) y de los edificios de servicio (plomaría, calentamiento, ventilación, colección de polvos, aire acondicionado, elevadores, escaleras, teléfonos, sistemas de intercomunicación, pintura, sistemas de irrigación, alarma contra incendio y edificio de alumbrado).

7. *Urbanización del terreno*: desarrollo del lugar (limpieza, saneamiento, caminos, banquetas, bardeados, área de estacionamiento, muelles y puestos, *parques de recreación* y jardines).

8. *Servicios*: servicios de proceso (vapor, agua, energía, refrigeración, aire comprimido, combustible y disposición de residuos), facilidades (caldera de incineración, pozos, tomas de agua fresca, tratamiento de aguas, almacenamiento de combustible, planta de disposición de residuos, controles ambientales y protección contra incendios), equipo no relacionado con el proceso (equipo y mueblería de oficinas, equipo de cafetería, equipo médico y de seguridad, equipo automotriz, equipo de jardinería, equipo de laboratorio, equipo de vestidores, equipo de estacionamiento, anaqueles, depósitos, paletas, tractores manuales, equipo de limpieza, extintores, mangueras, bombas de incendios y estaciones de carga y descarga) y distribución y empacamiento (almacenamiento y equipo de manejo de materia prima y producto terminado, equipo de empacamiento de producto, facilidades de mezcla y estaciones de distribución).

9. *Terreno*: reconocimiento, derechos y costo de propiedad.

B. Costos indirectos:

1. *Ingeniería y supervisión*: costos de ingeniería (*administrativos, de proceso, ingeniería general* y de diseño, esquema del proyecto, ingeniería de costos, comisiones,

expediciones, reproducciones, comunicaciones, modelos a escala, honorarios por consulta y viajes) y supervisión e inspección ingenieril.

2. Gastos de construcción: construcción, operación y mantenimiento de las facilidades temporales, oficinas, caminos, estacionamientos, electricidad, tubería, comunicaciones y bardeados), herramientas y equipos de construcción, supervisión de la construcción, contabilidad, tiempo cronometrado, compra, expedición, personal y gastos de almacén, vigilancia, seguridad, asistencia médica, prestaciones, permisos, pruebas del terreno, licencias especiales, impuestos, intereses y seguros.

3, Honorario del contratista

4. Contingencias

Calculando el capital de inversión fija de acuerdo a lo expuesto anteriormente, se obtiene lo siguiente (los detalles del cálculo se muestran en el anexo D inciso D.1).

CAPITAL DE INVERSIÓN FIJA = \$ 4 054 000.00
--

ESTIMACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo para una planta industrial consiste en el capital que debe ser invertido en:

- 1.- Suministro y almacenamiento de materia prima
- 2.- Almacenamiento de producto terminado y de producto semiterminado aún en manufactura dentro del proceso
- 3.- Cuentas por cobrar
- 4.- Dinero en cajas para el pago mensual de los gastos de operación (sueldos, salarios y compras de materia prima)
- 5.- Cuentas por pagar
- 6.- Impuestos por pagar

Calculando el capital de trabajo como un porcentaje de la inversión fija se obtiene que (los detalles de este cálculo se ilustran en el anexo D inciso D.2):

CAPITAL DE TRABAJO = \$ 837 000.00

ESTIMACIÓN DEL CAPITAL DE INVERSIÓN PREOPERATIVA

Una vez que ha finalizado la construcción de la planta, frecuentemente existen cambios a ésta antes de que empiece a operar. Estos cambios engloban material y equipo para el arranque de la planta, así como cambios a la capacidad de operación.

El capital de inversión preoperativa se puede calcular como un porcentaje del capital de inversión fija (los detalles de este cálculo se ilustran en el anexo D inciso D.3):

CAPITAL DE INVERSIÓN PREOPERATIVA = \$502 300.00

ESTIMACIÓN DEL CAPITAL DE INVERSIÓN TOTAL

Antes que la planta se ponga en operación, una gran suma de dinero debe ser reunida para comprar e instalar la maquinaria y equipo necesarios, obtener las facilidades del terreno y servicios; la planta debe ser edificada en su totalidad, con sus tuberías, controles y servicios. Por último, es necesario tener el dinero para el pago de costos de producción y para el arranque de esta planta.

Al capital necesario para suministrar las necesidades de planta es el Capital de Inversión Fija, el necesario para la operación de la planta es el Capital de Trabajo y el necesario para el arranque de la planta es el Capital de Preoperación. Por lo tanto, la suma de estos tres, es el capital de inversión total.

CAPITAL DE INVERSIÓN TOTAL = \$ 5 393 300.00

ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN

Todos los costos directamente relacionados con el proceso de producción, el equipo o la planta, son considerados como los costos de operación y se dividen en:

1. Costos directos
2. Cargos fijos
3. Gastos indirectos de planta

Los costos directos son aquellos asociados al proceso de manufactura como: materia prima, mano de obra, supervisión, operación, servicios, mantenimiento y reparación de la planta, suministros de operación y cargos de laboratorio.

Los cargos fijos son aquellos que permanecen constantes aún cuando se varíe la capacidad de producción. Estos son: depreciación, impuestos sobre la propiedad, seguros y renta.

Los gastos indirectos de la planta son aquellos que no se pueden incluir dentro de las otras dos clasificaciones, como son: seguridad y protección, servicios médicos, mantenimiento en general, nómina de pensionados, vacaciones, seguro social, seguro de vida, restaurante y áreas recreativas, equipo de salvamento, laboratorio de control, protección de la propiedad, superintendencia de la planta, almacenamiento, empaclado y beneficios especiales a los empleados.

Por lo tanto, los costos directamente relacionados con el proceso de producción, o sea, los costos de operación son (los detalles de este cálculo se ilustran en el anexo D inciso D.4):

COSTOS DE OPERACIÓN = \$200 000.00

ESTIMACIÓN DE LOS GASTOS GENERALES

Los gastos generales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- 1.- gastos administrativos
- 2.- gastos de distribución y mercado
- 3.- gastos de investigación y desarrollo
- 4.- gastos financieros
- 5.- gastos por deudas

Los gastos administrativos incluyen los salarios y sueldos a ejecutivos, mantenimiento de las oficinas, gastos legales y de ingeniería y comunicaciones,

Los gastos de distribución y de mercado son aquellos que involucran el proceso de venta y distribución del o los productos terminados e incluyen los gastos por el manejo del producto, contenedores, envío, oficinas de ventas, vendedores, servicios técnicos de ventas y asesoramiento.

Los gastos de investigación y desarrollo se realizan para mantenerse dentro de una posición industrial competitiva e incluyen los salarios y sueldos, equipo especial, facilidades de investigación y consultorías relacionadas con el desarrollo de nuevas ideas o innovación de procesos.

Los gastos financieros son generalmente considerados dentro de los gastos fijos y son los gastos extras para tener el dinero necesario para obtener el capital de inversión y se limita a los intereses por préstamo.

Los gastos por deuda están basados en la ley del impuesto sobre la renta y son una función directa de las deudas de la compañía generalmente no se incluyen dentro de una estimación porque varían dependiendo del tipo de empresa.

Así, los gastos generales son (los detalles de este cálculo se ilustran en el anexo D inciso D.5):

GASTOS GENERALES = \$4 500.00

ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTALES

Otra parte importante es la estimación de los costos para que la planta pueda operar y vender el producto. Estos costos son los costos de producción totales, divididos a su vez en costos de operación y gastos generales. Así, la suma de éstos son los costos de producción totales:

COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTALES = 204 500.00

ORIGEN Y APLICACIÓN DE RECURSOS

Por medio de un acuerdo de la Facultad de Química con diversas instituciones generadoras de desechos con características similares al residuo en estudio, así como con Semarnap, se lograría reunir un capital de:

CAPITAL SOCIAL = 4 500 000.00

con el cual se instaurará esta planta piloto para el estudio y tratamiento de desechos con metales pesados como son Ag(I), Cr(III), Cr(VI), Hg(I) y Hg(II).

ESTADO FINANCIERO

ESTADO DE RESULTADOS		BALANCE	
	\$		\$
Venta neta	45 600.00	Activo circulante	
Utilidad neta	45 600.00	efectivo y bancos	484 580.00
		inventario de MP	504.00
Gastos administrativos y comerciales	4 000.00	Activo fijo	
Utilidad operativa	19 100.00	bruto	4 233 500.00
		depreciación	(8 400.00)
Gastos financieros	0		4 225 100.00
Utilidad antes de impuestos	19 100.00		
			0
ISR	9 550.00	Pasivos	
		Capital contable	
UTILIDAD NETA	9 550.00	social	4 751 000.00
		superávit	(9 950.00)
		déficit	(31 850.00)
			4 709 200.00

Los detalles del cálculo de los valores de la tabla anterior, se ilustran en el anexo D inciso D.6.

ÍNDICES Y RENTABILIDAD

Para el estado financiero se tiene que:

-Margen de operación

$$(\text{Utilidad de operación}) / (\text{Ventas netas}) = 19100/45600 = 0.41$$

-Margen neto

$$((\text{Utilidad neta}) / (\text{Venta neta})) = 99550/45600 = 0.2$$

-Rentabilidad

$$(\text{Utilidad neta}) / (\text{Inversión de operación total}) = 9550/243500 = 0.03$$

TASA INTERNA DE RETORNO

$$\text{Inversión} = 4233500.00$$

Al cabo de 4 años se obtendrían \$5892405.00

Para obtener la tasa interna de retorno se realizó lo siguiente:

$$\text{Inversión} - (\text{Dividendos} / (1+i)^n) = 0$$

$$4233500(5892405/(1+y)^4) = 0$$

Despejando se obtiene que la tasa interna de retorno es de

$\text{TASA INTERNA DE RETORNO} = 0.08 = 8\% \text{ anual}$

Comparando la tasa interna de retorno con la inflación supuesta de 9.9% esta es una empresa dentro de los límites de viabilidad financiera.

ANEXO D

D.1. Cálculo del capital de inversión fija

D.1.1. Cálculo del costo de compra de equipo (Mc Ketta, 1981).

Las correlaciones empíricas empleadas a continuación, así como los coeficientes experimentales que en ellas se encuentran, son calculados en un sistema de unidades diferente al que se viene utilizando durante el presente proyecto; analizado este punto se resolvió respetar las unidades en las que se encuentra cada correlación.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: $Y=131.8X^{0.57}$

X [=] gal intervalo [100-25E 4]

Y [=] US\$

$$X = 4000L = 1056.7 \text{ gal}$$

$$Y = 131.8(1056.7)^{0.57} = 6975.34$$

como son cuatro tanques: US\$ 27901.36

REACTOR:

$$Y=537.8X^{0.47}$$

X [=] gal intervalo [100-25000]

Y [=] US\$

$$X = 200L = 52.8 \text{ gal}$$

$$Y = 537.8(52.8)^{0.47} = 3470$$

como es un reactor US\$ 3 470.50

SECADOR POR ASPERSIÓN: $Y=142.1X^{0.45}$

X [=] lb aire seco/h intervalo [14-300]

Y [=] US\$

$$X = 100 \text{ lb aire seco/h}$$

$$Y = 142.1 (100)^{0.45} = 1128.74$$

como es un secador US\$ 1 128.74

FILTRO PRENSA: $Y = 1763X^{0.58}$

X [=] ft² intervalo [15-1500]

Y [=] US\$

$$X = 6.2 \text{ ft}^2$$

$$Y = 1763(6.2)^{0.58} = 5 079.72$$

como es un filtro: US\$ 5 079.72

BOMBA CENTRÍFUGA (sin motor) $Y = 1607 + 1348X^{0.4}$
X [=] HP intervalo [0.1-20]
Y [=] US\$
X = 1 HP
 $Y = 1607 + 1348(1)^{0.4} = 2955.00$

como son cuatro bombas: US\$ 11 820.00

COMPRESOR: $Y = 1130X^{0.76}$
X [=] HP intervalo [100-23000]
Y [=] US\$
X = 1 HP
 $Y = 1130 (1)^{0.76} = 1130.00$

como es un compresor: US\$ 1130.00

MOTORES: $Y = 928 + 78.4X^{0.94}$
X [=] HP intervalo [0.9-250]
Y [=] US\$
X = 1 HP
 $Y = 928 + 78.4(1)^{0.94} = 1006.4$

como son cinco motores: US\$ 5 032.00

La suma total de las correlaciones de costo de equipo de este proceso es US\$ 55 562.32 (con un índice de precios del Chemical Engineering de 199).

D.1.2. Cálculo del costo de instalación del equipo comprado (Mc Ketta, 1981)

Para realizar el estimado del costo de instalación por equipo se utilizó la siguiente fórmula de proporcionalidad con el costo de compra del equipo:

$$Ce = F P$$

donde:

Ce = costo de instalación del equipo de la unidad completa

F = factor de proporcionalidad total

P = precio estimado del equipo

Este factor de proporcionalidad incluye los siguientes puntos:

- costos de urbanización
- edificios
- cimentación
- estructuras
- instalación eléctrica
- carpintería
- pintura
- tubería
- aislamiento
- ingeniería
- supervisión
- honorarios del contratista
- gastos indirectos

TANQUES DE ALMACENAMIENTO:

$$F = 3.5$$

$$P = \text{US\$ } 27901.36$$

$$C_e = 3.5(27901.36) = 97654.76$$

REACTOR:

$$F = 4.34$$

$$P = 3470.50$$

$$C_e = 4.34(3470.50) = \text{US\$ } 15\,061.97$$

SECADOR POR ASPERSIÓN:

$$F = 2.5$$

$$P = \text{US\$ } 1\,128.74$$

$$C_e = 2.5(1128.74) = \text{US\$ } 2\,821.85$$

FILTRO PRENSA:

$$F = 2.5$$

$$P = \text{US\$ } 5\,079.72$$

$$C_e = 2.5(5079.72) = \text{US\$ } 12\,699.30$$

BOMBAS CENTRÍFUGAS (sin motor):

$$F = 3.48$$

$$P = \text{US\$ } 11\,820.00$$

$$C_e = 3.48(11820.00) = \text{US\$ } 41\,133.60$$

COMPRESOR (sin motor):

$$F = 3.2$$

$$P = 1\,130.00$$

$$C_e = 3.2(1130.00) = \text{US\$ } 3626.00$$

MOTORES:

$$F = 8.5$$

$$P = \text{US\$ } 5\,032.00$$

$$C_e = 8.5(5032.00) = \text{US\$ } 42\,772.00$$

La suma de estas proporcionalidades es de 215 759.48 (con un índice de precios del Chemical Engineering de 199).

Debido a que la formula utilizada en el inciso C.1.2. ya incluye varios de los términos a considerar, únicamente es necesario calcular:

- costos de instalación de los instrumentos y controles

Considerando que para una planta de procesamiento sólido-líquido el 13% del costo de compra del equipo:

$$C_{IyC} = 0.13(55\,562.32) = \text{US\$ } 7\,223.10$$

por lo tanto, el capital de inversión fija será:

$$\begin{aligned} \text{CIF} &= \text{US\$}55562.32 + 215759.48 + 7223.10 \\ &= \text{US\$}278544.90 \end{aligned}$$

En agosto de 1997, Chemical Engineering reporta un índice de precios de 389.8. por lo que el capital de inversión fija hasta el 30 de agosto de 1997 en US\$ será de

$$\text{CIF} = \text{US\$}(389.8/199)278544.90 = 545612.07$$

El cambio a pesos el día 30 de agosto de 1997 fue de \$7.93 por US\$ por lo que el capital de inversión fija hasta el 30 de agosto de 1997 en pesos será:

$$\begin{aligned} \text{CIF} &= 545612.07(7.93) \\ &= 4326703.74 \\ @ &= 4\,400\,000.00 \end{aligned}$$

Considerando que para una planta de procesamiento sólido-líquido el capital de inversión fija es 4.1 veces el costo del equipo de proceso:

$$\begin{aligned} \text{CIF} &= (4.1)\text{US\$}55562.32 \\ &= \text{US\$ } 227805.51 \\ &= \$ 3856747.31 \\ @ &= 3900000.00 \end{aligned}$$

Considerando que para una planta de procesamiento sólido-líquido el costo del equipo de proceso es el 20% del capital de inversión fija:

$$\begin{aligned} \text{CIF} &= (100/20)\text{US\$}55562.32 \\ &= \text{US\$ } 222249.28 \\ &= \$376268.31 \\ @ &= 3800\ 000.00 \end{aligned}$$

Considerando estos tres valores, se tiene que el capital de inversión fija es de:
CFI = 4010000.00

Planeando que la planta se construirá en diciembre de 1997 y considerando una inflación anual de 9.9%: De agosto a diciembre son cuatro meses, que equivalen a 3.3% de inflación:

$$\begin{aligned} \text{CAPITAL DE INVERSIÓN FIJA} &= 4010000(1 + 0.033)^{0.33} \\ &= \$ 4\ 054\ 000.00 \end{aligned}$$

D.2. Cálculo del capital de trabajo (Peters y Timmerhaus, 1980)

Para una planta de procesamiento sólido líquido y, debido a que se tiene que almacenar el producto final del proceso por un tiempo, se considera que el capital de trabajo es el 20% del capital de inversión fija.

$$\begin{aligned} \text{CAPITAL DE TRABAJO} &= (0.20) (\$4\ 010\ 000) \\ &= \$ 802\ 000 \end{aligned}$$

Planeando que la planta comenzará a operar en abril de 1998 y considerando un inflación anual del 9.9%. De agosto a abril son 8 meses, que equivalen a 6.6%:

$$\begin{aligned} \text{CAPITAL DE TRABAJO} &= 802000 (1 + 0.066)^{0.67} \\ &= \$ 837\ 000.00 \end{aligned}$$

D.3. Cálculo del capital de inversión preoperativa (Peters y Timmerhaus, 1980)

Debido a que se tiene una tecnología nueva, estos gastos son mayores a los de una tecnología comprada. Por esto es que se consideran del 12% del capital de inversión fija.

$$\begin{aligned} \text{CAPITAL DE INVERSIÓN PREOPERATIVA} &= (0.12) (4\ 010\ 000) \\ &= \$ 481\ 200.00 \end{aligned}$$

$$\text{CAPITAL DE INVERSIÓN PREOPERATIVA} = 481200(1+0.066)^{0.67}$$

= 502 300.00

D.4. Cálculo de los costos de operación (Peters y Timmerhaus, 1980)

Costos directos

Los costos directos se evaluarán para procesar 2000L de residuo en un lapso de tiempo de 2 meses hábiles (48 días = 768 horas).

1).- Materia prima:

Las materias primas para esta planta de procesamiento son: hidróxido de sodio, sulfato ferroso amoniacal, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. Para procesar 2000L de residuo, se necesitan:

-Ácido clorhídrico

1L residuo → 1.6mL de HCl

2000L de residuo → 3.2L de HCl

Como el HCl se compra en garrafones de 2.5L, a un precio de \$108.00 c/u, se comprarán 2 garrafones.

COSTO DEL HCl = \$ 108.00/ garrafón

COSTO DEL HCl = \$ 216.00

-Hidróxido de sodio

1L residuo → 160 g de NaOH

2000L residuo → 320 kg de NaOH

Como el NaOH se compra en tambores de 50kg, a un precio de \$10.00/kg, se comprarán 7 tambores.

COSTO DEL NaOH = \$ 500.00/tambor

COSTO DEL NaOH = \$ 3 500.00

-Sulfato ferroso amoniacal

1L residuo → 20g de FAS

2000L residuo → 40kg de FAS

El FAS es comprado en paquetes de 1kg con un costo de \$10.00/kg, por lo que se comprarán 20 paquetes.

COSTO DEL FAS = \$ 10.00/paquete

COSTO DEL FAS = \$ 400.00

-Ácido sulfúrico

1L residuo → 0.80mL de H₂SO₄

2000L residuo → 625mL de H₂SO₄

El H₂SO₄ se compra en garrafones de 2.5L, con un costo de \$133.00/garrafón, se comprará un garrafón.

COSTO DE H₂SO₄ = \$133.00

El costo total de la materia prima será:

COSTO DE MATERIA PRIMA = \$ 4250.00

COSTO DE MATERIA PRIMA = \$ 4250(1+0.066)^{0.67} = 4436.00

COSTO DE MATERIA PRIMA = \$ 4250(1+0.075)^{0.75} = 4500.00

2.- Mano de obra

Considerando que se tienen 5 trabajadores por turno y se trabaja en dos turnos, son, en 2 meses, 600 día-hombre. Si el salario por día hombre es de \$25.00, entonces

COSTO DE LA MANO DE OBRA = \$ 15 000.00

3.- Servicios

- **Electricidad:** Si se trabaja a una carga de 40 kWh todo el tiempo de operación de la planta, en dos meses (768 h) se consumirán 30720 kWh. Si el costo por kWh es de \$1.22, entonces

$$\text{COSTO DE ELECTRICIDAD} = \$ 2\,300.00$$

- **Agua:** si se consumen 1000L/día de agua, en dos meses se consumirán 48000L de agua. Si el costo por m³ de agua es de \$ 4.75, entonces

$$\text{COSTO DE AGUA} = \$ 300.00$$

- **Drenaje sanitario:** si se generan 900L/día de aguas negras, en dos meses laborales se generarán 43 200L. Si el costo por m³ de drenaje sanitario es de \$1.25, entonces el costo del drenaje sanitario será de \$ 60.00

La suma total de estos valores indica el costo total de servicios:

$$\text{COSTO DE LOS SERVICIOS} = 22\,500.00$$

$$\text{COSTO DE LOS SERVICIOS} = 22500(1+0.075)^{0.75} = \$ 24\,000.00$$

4.- Mantenimiento y reparación de la planta

Considerando que los gastos por mantenimiento y reparación de la planta anuales son del 1% del capital de inversión fija, para dos meses será de 0.17%:

$$\text{CMRP} = (0.0017) (4054000)$$

$$\text{CMRP} = \$ 6900.00$$

5.-Suministros de operación

Considerando que los gastos por suministros de operación anuales son el 155 de los costos de mantenimiento y reparación de la planta, para dos meses será del 2.5%:

$$\text{COSTOS DE SUMINISTROS DE OPERACIÓN} = (0.025) (6900)$$

$$\text{COSTOS DE SUMINISTROS DE OPERACIÓN} = \$170.00$$

6.- Cargos de laboratorio

Considerando que los cargos de laboratorio son el 20% de la mano de obra:

$$\begin{aligned}\text{CARGOS DE LABORATORIO} &= (0.20) (15850) \\ &= 3200.00\end{aligned}$$

Costos fijos

a.- Depreciación

Considerando una depreciación anual de la maquinaria y equipo del 10%, para los dos meses será del 1.67%

$$\begin{aligned}\text{DEPRECIACIÓN DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO} &= (0.0167) (440600) \\ &= \$7360.00\end{aligned}$$

Considerando una depreciación anual de los edificios del 3%, para dos meses será de 0.5%. Como los edificios para una planta de procesamiento sólido-líquido son el 4.7% de la compra del equipo:

$$\begin{aligned}\text{COSTO DE LOS EDIFICIOS} &= (0.47) (440600) \\ &= \$ 207 100.00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DEPRECIACIÓN DE LOS EDIFICIOS} &= (0.005) (207100) \\ &= \$ 1050.00\end{aligned}$$

$$\text{DEPRECIACIÓN} = \$ 8 400.00$$

b.- Impuestos

Considerando que los impuestos locales son el 3% del capital de inversión fija:

$$\text{IMPUESTOS} = (0.03) (4054000) = \$ 121 600.00$$

c.- Seguros

Considerando que la tasa anual del seguro es del 1% del capital de inversión fija, para dos meses será del 0.017%:

$$\begin{aligned}\text{SEGUROS} &= (0.0017) (4054000) \\ &= \$ 6\,900.00\end{aligned}$$

Costos indirectos

Considerando que los costos indirectos de la planta son el 30% del costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento:

$$\begin{aligned}\text{COSTOS INDIRECTOS} &= (0.3) (21900) \\ &= \$ 6\,600.00\end{aligned}$$

Contingencias

Los factores imprevistos también deben tomarse en cuenta y se tomará un factor de contingencia del 1% del costo total de producción.

Entonces los costos de operación de la planta son:

$$\text{COSTOS DE OPERACIÓN} = 217\,000.00$$

D.5. Cálculo de los gastos generales (Peters y Timmerhaus, 1980)

- *Gastos administrativos*

Considerando que los gastos administrativos son el 25 % de la mano de obra:

$$\begin{aligned}\text{GASTOS ADMINISTRATIVOS} &= (0.25) (15850) \\ &= 4\,000.00\end{aligned}$$

- *Gastos de investigación*

Se considerará que por cada peso vendido el 2% se utilizará para gastos de investigación.

Entonces los gastos generales de la planta son:

$$\text{GASTOS GENERALES} = 4500.00$$

D.6. Cálculo del estado financiero

- *ESTADO DE RESULTADOS*

-Costo de lo vendido

Las ventas netas se estimarán considerando los costos equivalentes que tendrían que pagar los usuarios por la disposición del residuo incluyendo su transporte.

Considerando 2000L de residuo y tomando en cuenta el tiempo que tardará en estar lista la planta

$$\text{venta neta} = 45\ 600.00$$

-Gastos administrativos y comerciales

$$\text{GAC} = 4\ 000.00$$

-Impuesto sobre la renta (ISR)

Si se tienen utilidades, éstas causan la mitad de ISR.

$$\text{ISR} = (0.5) (19100) = 9\ 550.00$$

- *BALANCE*

-Efectivo y bancos	N\$ 4751000.00
ventas producto terminado	45600.00
depreciación	8400.00
planta	4233500.00
materia prima	4500.00
mano de obra	15850.00
servicios	42800.00
mantenimiento	6900.00
suministros	170.00
laboratorio	3200.00
seguros	6900.00
costos indirectos	6600.00
	N\$ 465780.00

-Inventario de materia prima

- HCl: $5-3.2 = 1.8\text{L HCl} = \$77.76(1+0.075)^{0.75} = \$ 82.00$
- NaOH: $350-320 = 30\text{Kg NaOH} (\$10/\text{Kg}) (1+0.075)^{0.75} = \$ 317.00$
- H_2SO_4 : $2.5-0.625 = 1.875\text{L H}_2\text{SO}_4 = \$ 99.75(1+0.075)^{0.75} = \$ 105.00$

$$\text{IMP} = \$ 504.00$$

-Activo fijo bruto

$$\begin{aligned}\text{AFB} &= \text{capital de inversión fija} = 4500000(1+0.075)^{0.75} \\ &= \$ 4\,233\,500.00\end{aligned}$$

-Capital social

$$\text{CS} = 4\,751\,000.00$$