

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA**



**INFORME FINAL**

**“III FASE DEL PROYECTO MANEJO DE DESECHOS PELIGROSOS  
EN LOS LABORATORIOS DEL ITCR”.**

***INVESTIGADORES:***

Lic. Juan Carlos Salas Jiménez ([jcsalas@itcr.ac.cr](mailto:jcsalas@itcr.ac.cr))

Licda. Hilda Quesada Carvajal. ([hquesada@itcr.ac.cr](mailto:hquesada@itcr.ac.cr))

Dr. Katsuhiko Harada ([KatsuhikoHarada@yahoo.co.jp](mailto:KatsuhikoHarada@yahoo.co.jp))

DICIEMBRE 2007.

# INDICE

---

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁGINA</b>
1. AUTORES.....	3
2. RESUMEN.....	3
3. PALABRAS CLAVES.....	4
4. INTRODUCCIÓN.....	4
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	17
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
8. BIBLIOGRAFIA.....	28
9. ANEXOS.....	29

---

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN Y EXTENSIÓN**  
**DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**1-TÍTULO**

**III FASE DEL PROYECTO MANEJO DE DESECHOS PELIGROSOS EN LOS  
LABORATORIOS DEL ITCR”.**

**2- AUTORES Y DIRECCIONES**

INVESTIGADORES RESPONSABLES:

Lic. Juan Carlos Salas Jiménez ([jcsalas@itcr.ac.cr](mailto:jcsalas@itcr.ac.cr))

Licda. Hilda Quesada Carvajal. ([hquesada@itcr.ac.cr](mailto:hquesada@itcr.ac.cr))

Dr. Katsuhiro Harada ([Katsuhiro Harada@yahoo.co.jp](mailto:Katsuhiro Harada@yahoo.co.jp))

**3- RESUMEN**

Se realizó el tratamiento de los desechos acuosos de metales pesados provenientes de los laboratorios y de las escorias del proceso de nitruración. Estos se encontraban almacenados en cantidades significativas. Se contó con la participación del Dr. Katsuhiro Harada, cooperante japonés, el cual propuso una metodología de tratamiento que fue probada y adaptada de acuerdo con las características de los desechos peligrosos que se generan en el ITCR y además, se propuso un procedimiento operativo para centralizar el tratamiento de algunos desechos que se producen en diferentes laboratorios que tienen características químicas semejantes y por lo tanto pueden ser tratados por el mismo método químico, lo cual haría más sencillo y barato para estos casos concentrar el tratamiento en un solo lugar, o en el caso de desechos muy peligrosos, en donde el tratamiento y la disposición final sean algo complicados de implementar. Para tal fin se construyó un laboratorio de desechos peligrosos, el cual se equipó con un reactor, un filtro para lodos y equipos de laboratorio para análisis. Los métodos probados a nivel de planta

piloto para el tratamiento de los desechos acuosos de metales pesados y de escorias con cianuro fueron efectivos.

#### **4- PALABRAS CLAVE**

Tratamiento químico

Desechos acuosos

Metales pesados

Planta piloto

#### **5- INTRODUCCIÓN**

##### **5.1 Antecedentes**

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) se ejecutan actividades, ordinarias, académicas, de investigación y administrativas que generan desechos peligrosos, a pesar de esto, actualmente no existe en la institución un sistema integral de manejo de desechos que realice una gestión adecuada de los desechos peligrosos con un enfoque de minimización en la fuente y de un manejo integral de los mismos.

Con el fin de reducir el impacto negativo a la salud de funcionarios, estudiantes, comunidad vecina y el ambiente se planteó el proyecto “Manejo de los Desechos Peligrosos en los Laboratorios del ITCR”, el cual fue ejecutado a través de tres fases,(I Fase: Situación del Manejo de los Desechos Peligrosos en la Sede Central del TEC. II Fase: Implementación de un Sistema de Manejo Adecuado de los Desechos Peligrosos en los Laboratorios del TEC y III Fase Pruebas a nivel de Planta piloto).

Este informe corresponde a la tercera fase del proyecto de Manejo de Desechos Peligrosos del ITCR, en el cual se realizó un escalamiento a nivel de planta piloto de los tratamientos evaluados en la segunda fase. Este se realizó con los desechos

que se encuentran almacenados en cantidades significativas, como lo son los desechos acuosos de metales pesados provenientes de los laboratorios y las escorias del proceso de nitruración.

Se realizaron pruebas a nivel de planta piloto con la participación del Dr. Katsuhiro Harada, cooperante japonés, quien propuso una metodología de tratamiento, esta fue probada y adaptada de acuerdo con las características de los desechos peligrosos que se generan en el ITCR, además, se propone un procedimiento operativo para centralizar el tratamiento de algunos desechos, producidos en diferentes laboratorios, con características químicas semejantes y por lo tanto con la posibilidad de ser tratados con un mismo método químico; dicha práctica abarata y simplifica el tratamiento en un solo lugar, o en el caso de desechos muy peligrosos, en donde el tratamiento y la disposición final son complicados de implementar, es recomendable que se realice en un laboratorio especializado con personal capacitado.

El tratamiento de pequeñas cantidades de desechos de poca peligrosidad ó de fácil disposición se puede realizar en la fuente generadora, tal como se establece en la “Guía de Manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR” (generada en la segunda fase de este proyecto (in situ) <sup>(1)</sup>).

## **5.2 Marco Teórico.**

En 1998 el Gobierno de la República aprobó el decreto N° 27001- MINAE “Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales” <sup>(2)</sup>, y el decreto N° 27000-MINAE “Reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos

industriales”<sup>(3)</sup> con fundamento en los artículos 50 y 140 incisos 3 y 18 de la Constitución Política y de conformidad con lo dispuesto en los artículos 60 y 69 de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554.

Este Reglamento, tiene como objetivo el de establecer las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites de concentración máxima permisible. En este reglamento, se define a los desechos peligrosos como: “aquellos desechos sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos que por su reactividad química y sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, radioactivas, biológicas, inflamables, volatilizables, combustibles y otras; o por su cantidad y tiempo de exposición, pueden causar daños a la salud de los seres humanos y del ambiente, incluyendo la muerte de los seres vivos”<sup>(3)</sup>.

Además se establece en los artículos 3, 4 y 5, que un desecho es peligroso cuando presenta una o varias de las características anteriores, si es una mezcla de desechos ordinarios con desechos peligrosos o si aparecen en las listas de industrias que generan desechos peligrosos (fuentes específicas), cuadro 5 del anexo 2, lista de desechos peligrosos de fuentes no específicas que se encuentran en el cuadro 6 del anexo 2 de este reglamento<sup>(3)</sup>.

El Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales, tiene como objetivo establecer las normas y procedimientos para un manejo adecuado de los desechos peligrosos, desde una perspectiva sanitaria y ambiental para todo desecho que se considere peligroso, según la definición que se encuentra en el Reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos Industriales<sup>(2)</sup>

.

En el Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos<sup>(2)</sup>, se establece que el generador de desechos peligrosos será el responsable de garantizar que su tratamiento y disposición final se realice de acuerdo con las condiciones exigidas en el mismo reglamento (artículo 2), también se define que el tratamiento de un producto o desecho

peligroso es un método, técnica o proceso, designado a cambiar las características físicas, químicas o biológicas, de manera que se produzca un desecho no peligroso o menos peligroso para su almacenaje seguro, transporte o disposición final (artículo 11, sobre el tratamiento de los desechos peligrosos, inciso 1). También indica (en inciso 2) que los tratamientos incluyen la neutralización de los desechos, recuperación de energía o fuentes de materiales de desechos y señala las principales prácticas para el tratamiento de los desechos peligrosos, entre los que se mencionan: reciclaje, métodos físico-químicos, métodos biológicos, incineración, tratamiento fuera del país, y otros mecanismos entre los que se cita: la fijación química, encapsulamiento, estabilización, solidificación. <sup>(2)</sup>

Los tratamientos más importantes utilizados para los desechos peligrosos son: (4, 5,6, 7,8).

1. Tratamientos Biológicos
2. Tratamiento Térmico
3. Estabilización y Solidificación
4. Tratamientos Físico-Químicos

#### 1. Tratamientos Biológicos.

El tratamiento biológico es la degradación del residuo orgánico por la acción de los microorganismos. La degradación altera la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Una limitación a este tratamiento, es que las concentraciones de los residuos a tratar puedan ser letales para los microorganismos.

#### 2. Tratamiento Térmico

El tratamiento térmico consiste en un proceso de incineración que destruye únicamente los residuos orgánicos pero no los residuos inorgánicos, mediante la combustión completa de la materia orgánica, transformándola en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Para

obtener el resultado anterior se necesita tener un buen control del sistema de incineración, de lo contrario se estarían enviando sustancias tóxicas a la atmósfera. En Costa Rica el servicio de incineración de solventes principalmente los no clorados, se realiza en los hornos de la fábrica de cemento Holcim.

### 3. Estabilización y Solidificación

Los desechos peligrosos se mezclan con otros materiales donde son capturados o fijados, formando una estructura sólida. El objetivo es convertir los desechos peligrosos en un sólido inerte, estable, de baja lixiviabilidad. (La lixiviación es el proceso por el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua) y con suficiente fuerza mecánica, esto previene que migren hacia el agua.<sup>(5)</sup>

La solidificación depende de las características de los desechos. Los materiales usados en la solidificación son:

- Cementos
- Limo o materiales puzolánicos (porcelana)
- Materiales termoplásticos: betún, parafina o polietileno
- Silicatos fundidos
- Arcillas

### 4. Tratamientos Físico-Químicos

En los tratamientos físicos no se da una transformación de la composición del desecho, se utiliza para recuperar algunos componentes que se puedan reutilizar. Algunos métodos de separación físicos son los siguientes:

- Destilación
- Filtración
- Extracción orgánica líquido-líquido
- Absorción de carbono
- Floculación



- Sedimentación
- Centrifugación

Los tratamientos químicos se utilizan para transformar la composición de los desechos, para obtener sustancias menos peligrosas.

Los tratamientos químicos se pueden agrupar en seis tipos de acuerdo con el desecho que se quiere hacer inerte, como se muestra en el cuadro 1.

**CUADRO 1. MÉTODOS GENERALES DE TRATAMIENTO QUÍMICO** (4, 5, 6,7).

METODO	DESECHOS	SUSTANCIAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO
Neutralización	Ácidos Bases Aguas residuales	Cenizas alcalinas Ácidos Sulfúrico Barros de caliza Gases de caldera
Precipitación	Metales Pesados (cobre, níquel, cromo, plomo, zinc, etc.) Compuestos solubles.	Caliza Hidróxido de sodio Sulfuros
Oxidación	Sustancias orgánicas e inorgánicas que son agentes reductores como: Sales de cianuro. Sulfuros Mercaptanos Fenoles Formaldehído Compuestos de azufre y plomo	Oxígeno Gas Cloro en medio básico Ozono Peróxido de hidrógeno Permanganato de potasio Hipoclorito de sodio
Reducción	Sustancias orgánicas e inorgánicas que son agentes oxidantes.	Dióxido de azufre Sulfitos
Intercambio iónico	Eliminación de ácido crómico del agua.	Lecho fijo de resinas
Fijación química	Lodos.	Catalizadores. Compuestos inorgánicos

En cuanto a la disposición final de los desechos peligrosos, el Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos, indica (artículo 12) que la disposición adecuada se refiere a la descarga, inyección, deposición, lanzamiento y/o colocación de cualquier desecho peligroso (previamente tratado) e indica que dicha disposición debe hacerse de manera

que el desecho o cualquier constituyente del mismo que entra al ambiente no acarree ningún tipo de problema para el ambiente. <sup>(2)</sup>

Además establece (artículo 12, inciso 2) que lo únicos métodos de disposición final aceptados son:

- Relleno sanitario de seguridad
- Encapsulamiento, incineración
- Exportación a países desarrollados (solo con fines de tratamiento y disposición final)

<sup>(2)</sup>

Sin embargo, no existe ningún método de disposición totalmente seguro y en todos los casos se requiere evaluar previamente los posibles impactos ambientales y seleccionar con propiedad los sitios para disponer los desechos peligrosos. <sup>(5)</sup> Por lo que es necesario realizar los estudios para adaptar las metodologías que sean idóneas a nuestra realidad e ir dando solución al manejo adecuado de los desechos peligrosos que se requiere en nuestro país. La sede central del Instituto Tecnológico al contar con un centro de investigación especializado en prevenir y resolver problemas ambientales, puede realizar estos estudios enfocados a resolver el problema del tratamiento y disposición final adecuada de los desechos peligrosos que se generan en la sede universitaria, y de esta manera, servir de ejemplo a otras instituciones e industrias, además de estar a derecho con la legislación ambiental existente, lo cual no solo es una obligación como ciudadanos, sino un deber como formadores de profesionales a los que la sociedad les pide un comportamiento y desempeño profesional apegado a la ética ambiental.

En el siguiente cuadro se muestran las condiciones experimentales de tres tratamientos químicos para desechos acuosos de metales pesados y uno para desechos de cianuros propuestos por el Dr. Harada, para realizar ensayos de laboratorio con el fin de adaptarlos a las características de los desechos que se tiene en la institución. En el anexo 1 se muestra un esquema del procedimiento para procesar desechos en medio acuosos propuesto por el Dr. Harada.

**CUADRO 2. CONDICIONES GENERALES PARA EL TRATAMIENTO DE ALGUNOS METALES PESADOS Y CIANURO EN MEDIO ACUOSO.**

Condiciones del proceso				24th Mayo 2005 K.HARADA	
Proceso	Sustancias	Condiciones del proceso			Nota
		pH/Temp.	Reacción	Tiempo	
1. Método de sulfato Ferroso	Mg, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Ba, Pb, Bi	>9 >60°C	$2\text{NaOH}/\text{FeSO}_4=1/1$ $x\text{M}^{2+} + (3-x)\text{Fe}^{2+} + 6\text{OH}^- \Rightarrow \text{MxFe}_{3-x}\text{O}_4$ $\text{M}_x\text{Fe}_{3-x}(\text{OH})^6 + 1/2\text{O}_2 \Rightarrow \text{M}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que interfieren; Al, Si, P, Nb, Sb, Ta, (Ga, Ge, As, Se, Sr, Y, Zr, La, Sn)</li> </ul>
2. Método de Hierro en polvo	Al, As, Bi, Cd, Cr6+, Cr3+, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn	3 ~ 4	Iron Powder Iron:400g / 50L	>30min	<ul style="list-style-type: none"> <li>agitación fuerte</li> <li>metales pesados conc.&lt;1000mg/l</li> </ul>
		9 ~ 10		>10min	
3 Método con Compuestos de Sulfuro	Hg	7 ( 6 ~ 8 )	Hg ; 10mg/l S <sup>2-</sup> ; 10mg/l ( Na <sub>2</sub> S) Fe <sup>3+</sup> ; 40mg/l ( FeCl <sub>3</sub> )	>10min	
4. Método de descomposición de cianuros.	Desechos acuosos de cianuro	>10	NaOCl ORP=300 ~ 350mV	>10min	<ul style="list-style-type: none"> <li>5Cl<sub>2</sub>/2CN=6,83g/1g</li> </ul>
		7 ~ 8	NaOCl ORP=600 ~ 650mV	>30min	

**5.3 Objetivos Generales.**

Establecer a escala de planta piloto los tratamientos físico-químicos evaluados y la disposición segura de los desechos peligrosos que se encuentran acumulados o se generan en cantidades significativas en los laboratorios del TEC.

## 5.4 Objetivos Específicos.

1. Evaluar a escala de planta piloto algunos de los tratamientos físico químicos ya probados a nivel de laboratorio, para algunos de los desechos peligrosos del TEC.
2. Evaluar a escala piloto el método de inmovilización en cemento con los desechos peligrosos tratados
3. Definir el procedimiento operativo para centralizar el tratamiento de algunos desechos peligrosos del TEC en la planta piloto.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el alcance del primer objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- 6.1 Se diseñó y construyó un reactor de acero inoxidable con las siguientes funciones:
- Camisa externa para calentar con agua hasta 90 °C, con termostato.
  - Agitación mecánica.
  - Medidor de pH y temperatura.
  - Línea de aire alimentado con un compresor de 0,5 caballos de fuerza (hp).
  - El reactor cuenta con varios niveles de salida para evacuar el líquido supernatante.
  - Bomba de alimentación conectada a cuatro recipientes donde cada recipiente contenía: sulfato de hierro, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico y agua. (ver anexo 2).
6. 2. Se construyó un filtro de acero inoxidable, para separar los lodos del líquido supernatante. (Ver anexo 3.)
6. 3. Se construyó el actual “**LABORATORIO DE DESECHOS PELIGROSOS**” en una área de 70 m<sup>2</sup>, donde se instaló la planta piloto para realizar las pruebas. (Ver anexo 4).
6. 4 Se recolectaron 158,7 Kg de desechos acuosos de metales pesados y de 25 Kg de cianuro de:

- Los laboratorios de Docencia de Química Básica I y II
- Laboratorio Químico y Microbiológico CEQIATEC, de la Escuela de Química,
- Centro de Investigación Integración Industria Bosque de La Escuela de Ingeniería Forestal
- Escuela de Ingeniería Electrónica.
- Del laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Materiales se recolectó las escorias con cianuro del proceso de nitruración.

#### 6.5 Tratamiento para metales pesados.

- Los desechos acuosos de metales pesados provenientes de diferentes fuentes se llevaron al Laboratorio de Desechos Peligrosos y ahí se mezclaron (desechos con características químicas similares), luego se homogenizó la mezcla.
- Se realizaron pruebas preliminares para determinar las concentraciones iniciales de los desechos mezclados a través de un método colorímetro, utilizando el equipo **SMART 2 Colorimeter de LaMotte** con el fin de determinar las cantidades de reactivos que se consumirían en el tratamiento.
- Se realizaron pruebas de dilución a la mezcla de desechos con el fin de determinar la dilución más adecuada en el reactor.
- Se colocaron los desechos en el reactor y se diluyeron con agua.
- Se realizó el tratamiento para metales pesados siguiendo las indicaciones del siguiente procedimiento recomendado por el Dr. Harada (cuadro 3)

### CUADRO 3. Formación de Hidróxidos insolubles (Agua de desecho: 300 Litros)

18 t h Jan. 2006 K. HARADA

1	Ajustar el pH por encima de 10,0 con NaOH al 25 %	Oxidación de materia orgánica y Cianuros en concentración por debajo de 200 ppm.
2	Añadir disolución de Hipoclorito de sodio [NaClO] al 13 % en una relación de (5Cl <sub>2</sub> /2CN= 6,83gramos/1gramos) o hasta que [ORP] > 400mV	
3	Agite con aire durante 30 minutos manteniendo el PH por encima de 10,0 y el ORP> 400mV	
4	Ajustar el pH a 2,8 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 10 % con agitación	
5	Añadir disolución de (F e S O <sub>4</sub> ) : no menos de 880 gramos y bisufito de sodio (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) no menos de 62 gramos o manteniendo el ORP = +500 mV	Reducción
6	Mantenga el pH=2,8 por 20 minutos	
7	Ajuste el pH a 5,1 con NaOH al 25 %	
8	Añadir entre 2,5 y 5 kilogramo de carbón activado	Procedimiento para tratar mercurio en bajas concentraciones y sustancias orgánicas
9	Mantener el pH=5,1 por 30 minutos con agitación	
10	Ajustar el pH entre 7,5-8,0 con NaOH al 25 % y mantenerlo durante 20 minutos.	Eliminación de fluoruro, ácido fósfórico, y arsénico
11	Ajustar el pH a 10,8 con NaOH al 25 % y agitar con aireación durante 30 minutos	Eliminación de amonio
12	Añadir Disolución al 40 % de Cloruro de Hierro (III) (FeCl <sub>3</sub> ) y mantener el pH>10	Floculante
13	Ajustar el pH a 10,8 (NaOH)	Eliminación de metales pesados.
14	Agite con aire y mantenga el pH = 10, 8 por 30 minutos	
15	Ajustar el pH a 8,0 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	
16	Añadir un coagulante polimérico (no aniónico)	
17	Filtración	
18	Ajustar el pH a 7,0 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	

- Se deja sedimentar los sólidos formados en el tratamiento, quedando dos fases: el líquido supernatante y el sólido.
- El sólido sedimentado se saca del reactor por la parte inferior y se coloca en el filtro para eliminar la mayor cantidad de líquido.
- Al líquido supernatante que queda en el reactor, se le realiza análisis para comprobar que las concentraciones de los metales pesados estén por debajo de la normativa nacional.

- Si cumple, se regula el pH entre 6 y 8, luego se dispone por el drenaje. Si no cumple se vuelve a tratar el líquido.
- Al sólido se le realiza la prueba para determinar la característica de toxicidad por lixiviación. (TCLP 1311 de la EPA) para determinar si cumple con la normativa nacional, si no cumple se realiza el proceso de solidificación.

#### 6.6 Método de Inmovilización con Cemento.

- El sólido obtenido en el tratamiento anterior se entregó al grupo de investigación del proyecto “**Desarrollo de las Tecnologías de Inmovilización, Solidificación y Estabilización de los Desechos Peligrosos en Costa Rica**” para realizar la evaluación de la disposición final del desecho a escala piloto mediante esta tecnología. Con esto se cumple con el segundo objetivo específico, el cual mediante un acuerdo entre los investigadores y la VIE se decidió que este iba a ser desarrollado por el proyecto anteriormente indicado.

#### 6.7 Tratamiento de las escorias con cianuro. Este tratamiento es parte del cumplimiento del objetivo específico 1.

- Las escorias con cianuro provenientes del proceso de nitruración se llevaron al Laboratorio de Desechos Peligrosos.
- Se realizaron pruebas preliminares para determinar las concentraciones iniciales de cianuro en los desechos a través de un método colorímetro, utilizando el equipo **SMART 2 Colorimeter de LaMotte** con el fin de determinar las cantidades de reactivos que se consumirían en el tratamiento.
- Se realizaron pruebas de dilución a la mezcla de desechos con el fin de determinar la dilución más adecuada en el reactor.

- Se colocan los desechos en el reactor y se diluyen.
- Se realiza el tratamiento para cianuro siguiendo las indicaciones del siguiente procedimiento (cuadro 4):

**CUADRO 4. DESCOMPOSICIÓN DE CIANUROS**

1	Diluir hasta 200 ppm
2	Ajustar el pH a 10,5 (con NaOH 25% m/m)
3	Adicionar hipoclorito de sodio [NaClO] ( $5Cl_2 / 2CN = 6,83$ gramos /1gramo )
4	Mantener 30 minutos la reacción con aireación.
5	Ajustar el pH entre 6 y 8

- Se realiza análisis para comprobar que las concentraciones de  $CN^{1-}$  estén por debajo de la normativa nacional.
- Si cumple, se regula el pH entre 6 y 8, luego se dispone por el drenaje. Si no cumple se vuelve tratar el líquido.

6.8 Procedimiento operativo para centralizar el desecho. Con este se logra el objetivo específico 3.



Para definir el procedimiento operativo para la centralización del tratamiento de algunos desechos peligrosos se consideraron los siguientes aspectos:

- Cantidad
- Complejidad del tratamiento.

## **7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **7.1 Diseño de reactor y filtro**

El reactor se construyó en acero inoxidable con una capacidad de 300 litros, tiene control de temperatura, pH, agitación mecánica y burbujeo con aire. El reactor tiene conexión directa a cuatro diferentes recipientes donde se pueden colocar los reactivos utilizados para el tratamiento, estos son trasegados al reactor por medio de una bomba. Estas características del reactor permiten versatilidad en su uso pues se pueden tratar volúmenes grandes de desechos, utilizando una gran variedad de métodos de tratamiento de desecho en medio acuoso.

Por otro lado, el reactor cuenta con varios niveles de evacuación del líquido supernatante, permitiendo separar el líquido del sólido por decantación. El sólido se extrae del reactor por gravedad. Este luego pasa a un filtro para extraer la mayor cantidad de líquido posible.

### **7.2 Tratamiento a escala piloto de los desechos acuosos de metales pesados.**

A los desechos acuosos de metales pesados recolectados se le realizaron análisis químicos para determinar la concentración inicial de algunos metales pesados, con el fin de determinar la dilución y la cantidad de reactivos requeridos para el tratamiento. Las concentraciones iniciales se muestran en el cuadro 5.

El primer lote de desechos fue de 47,7 kilogramos y era una mezcla de desechos de la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), mezcla de desechos de dicromato de potasio al 5,0 %, desechos de disolución al 10,0 % de sulfato de cobre y desechos del laboratorio de docencia. El segundo lote fue de 111 kg y estuvo constituido por una mezcla de desechos de DQO y desechos del tratamiento de la madera.

**CUADRO 5. CONCENTRACIONES INICIALES DE ALGUNOS METALES PESADOS EN DESECHOS ACUOSOS**

LOTES	CONCENTRACIÓN INICIAL DE METALES PESADOS (mg /L)				
	Cr <sup>6+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	As <sup>3+</sup>
1	720	2500	80	130	---
2	371,2	1209	1,3	75	65,6
Según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales	2,5	2,0	0,5	0,01	0,5

Como se observa en el cuadro anterior los desechos presentaron una concentración por encima de lo que la normativa indica por lo que se requirió tratarlos antes de disponerlos.

El método de formación de hidróxidos para el tratamiento de metales pesados en medio acuoso se aplicó a ambos lotes y es apropiado para cuando la concentración en el agua de desecho de metales ordinarios es menor de 2000 mg/l y la concentración de metales de difícil procesamiento es menor a 100 mg/l cuando se refiere a Cr<sup>3+</sup>, en el caso del Cu<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup> menor de 5000 mg/L y para el Mn<sup>2+</sup> y Zn<sup>2+</sup> menor de 200 mg/L. Por lo que se dedujo que este primer lote a tratar debía diluirse 7 veces para que el tratamiento resultara eficiente, particularmente para el tratamiento del Cr<sup>3+</sup> ya que en el caso del Cu<sup>2+</sup> la concentración inicial del desecho está por debajo de lo indicado.

Por lo tanto, para determinar el comportamiento del desecho con respecto a lo anterior se realizó una prueba a nivel de laboratorio, realizando una dilución de 6,4 veces (Prueba 1).

En el anexo 5, se muestran las condiciones experimentales de la prueba 1.

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de los análisis realizados al líquido supernatante de la muestra tratada en prueba 1.

**CUADRO 6. CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS DESPUES DE REALIZAR LA PRUEBA 1 AL LOTE 1 DE DESECHOS**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)				
	Cr <sup>+6</sup>	Cr total	Cu <sup>+2</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Hg <sup>+2</sup>
Según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales	---	2,5	2,0	0,5	0,01
PRUEBA 1	0,03	0,06	0,14	0,1	0,00

Como se puede inferir del cuadro anterior, el tratamiento realizado a la muestra con una dilución de 6,4 veces fue efectivo, pues las concentraciones de los metales analizados están por debajo de las concentraciones máximas permitidas en el Reglamento de Vertido y Reuso de aguas Residuales, decreto N° 33601-MINA-S <sup>(9)</sup>.

#### **7.4 Tratamiento en el reactor. Primer lote**

Se realizó el tratamiento del desecho en el reactor de tal manera que el volumen final de líquido a manejar fuera aproximadamente 200 litros y la dilución del desecho de 4 veces (Prueba 2), ya que las concentraciones iniciales de los metales a tratar en el desecho (Lote1) eran bastante bajas, también debido a que la prueba 1 del tratamiento del desecho diluido 6,4 veces dio concentraciones de metales muy por debajo de lo que el Reglamento de Vertido y Reuso de aguas Residuales exige, las condiciones experimentales se muestran en el anexo 5.

En el cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos al analizar el líquido supernatante después del tratamiento de los desechos en el reactor (Prueba 2 y 3) se muestran a continuación.

**CUADRO 8 CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS EN EL LÍQUIDO SUPERNATANTE EN LA PRUEBA 2 y 3 REALIZADAS EN EL REACTOR.**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)				
	Cr <sup>+6</sup>	Cr total	Cu <sup>+2</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Hg <sup>+2</sup>
Según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales	---	2,5	2,0	0,5	0,01
PRUEBA 2	0,26	0,35	0,03	0,00	>0,5
PRUEBA 3	---	---	---	---	0,0024
Porcentaje de Remoción*	99,96	99,95	99,99	100	99,99

\* El porcentaje de remoción es la diferencia entre la concentración inicial y final del desecho después de realizado el tratamiento dividido entre la concentración inicial del desecho, multiplicado por 100.

Del cuadro anterior se determina que la concentración de todos los metales en la prueba 2 está por debajo de lo exigido por la norma de Vertido y Reuso de aguas, excepto el Hg<sup>2+</sup>. Por lo tanto se debió tratar el líquido supernatante con carbón vegetal dos veces (prueba 3) para disminuir la concentración de Hg<sup>2+</sup> a 0,05 mg/L en el primer tratamiento con carbón vegetal y luego a una concentración de 0,0024 mg/L de Hg<sup>2+</sup>, después de agregar por segunda vez carbón vegetal, cumpliendo con la normativa.

La información obtenida en el cuadro anterior muestra que la dilución de 4 veces, utilizada para tratar el desecho, fue efectiva, porque cumple con la normativa y el porcentaje de remoción es prácticamente de un 100% en todos los casos, permitiendo con esto manejar volúmenes más pequeños y un menor consumo de agua en el proceso de tratamiento. En

el caso del mercurio la dilución es efectiva si se realiza dos veces el tratamiento con Carbón Activado (Ver nexos 5, prueba 3).

### 7.8 Segundo lote tratado. Tratamiento del desecho en el reactor

Con base en los resultados obtenidos en el tratamiento del primer lote y el análisis que se muestra en cuadro 5 se decidió trabajar con la muestra sin diluir ya que se determinó que si la concentración de  $\text{Cr}^{3+}$  no es mayor de 700 mg/L se puede trabajar sin efectuar una dilución, a pesar de que de acuerdo al procedimiento original para  $\text{Cr}^{3+}$  se debía diluir 3 veces, y trabajando a volúmenes menores para facilitar el manejo de líquidos. En el anexo 5 se encuentran las condiciones del tratamiento del segundo lote (Prueba 4).

En el cuadro 9 se muestra los resultados de los análisis del líquido supernatante después del tratamiento.

**CUADRO 9. CONCENTRACION DE LOS METALES PESADOS EN EL LÍQUIDO SUPERNATANTE DE LAS PRUEBAS 4 y 5 REALIZADAS EN EL REACTOR.**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)					
	$\text{Cr}^{+6}$	Cr total	$\text{Cu}^{+2}$	$\text{Pb}^{+2}$	$\text{Hg}^{+2}$	$\text{As}^{+3}$
Según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales	---	2,5	2,0	0,5	0,01	0,5
PRUEBA 4	< 0,1	< 0,1	$0,479 \pm 0,058$	$0,997 \pm 0,760$	0,13	$2,56 \pm 0,15$
PRUEBA 5	---	---	---	< 0,05	0,004	< 0,01

Analizando los datos del cuadro 9, se determinó que el tratamiento realizado con la muestra sin diluir fue efectivo para disminuir la concentración de todos los metales, particularmente en el caso del  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  que inicialmente estaban en altas

concentraciones se redujeron significativamente hasta cumplir con la normativa. En el caso del  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$  y  $As^{3+}$  disminuyeron sus concentraciones, pero están por encima de la normativa, por lo que se procedió a tratar de nuevo el líquido supernatante con sulfuro de sodio y carbón activado (Prueba 5), en el anexo 5 se muestran las condiciones experimentales de este tratamiento. Como se observa en el cuadro este segundo tratamiento al líquido supernatante fue efectivo para bajar la concentración de  $Hg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $As^{3+}$  por debajo de lo que el reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales exige.

Se determinó que los desechos acuosos de metales pesados generados en el TEC se pueden tratar sin diluir si se realiza primero una precipitación con hidróxido de sodio para disminuir significativamente la concentración de los metales pesados que se encuentran en altas concentraciones y luego se trata con sulfuro de sodio para eliminar los metales pesados que continúan en muy bajas concentraciones y finalmente se agrega carbón activado para adsorber mercurio en bajas concentraciones.

### **7.5 Separación del sólido del líquido supernatante.**

Una vez separados los sólidos de los líquidos por decantación (ver anexo 5), estos continúan con gran cantidad de agua por lo cual es necesario realizar algunas pruebas para determinar el medio filtrante más adecuado.

Para ello se probaron varios medios (las condiciones experimentales se muestran en anexo 5):

- En el caso del lote 1 se realizaron pruebas con arena y mecha,
- En el lote 2 se realizaron pruebas utilizando arena y mecha, utilizando solo mecha y utilizando mecha y la mezcla de reacción tratada con floculante aniónico.

En el caso de la utilización de una capa de arena y una de mecha se dio un proceso de filtración lento que duró aproximadamente ocho días. En el caso del lote uno se pudo

separar por este método; pero para el lote 2 no funcionó, el filtro se saturó muy rápido y no se dio el proceso de filtración.

Al realizar la prueba de filtración del lote 2 solo con mecha, resultó efectivo, pues se dio la separación; pero el proceso se dio de manera muy lenta porque tanto en el caso de la filtración con arena y mecha y de la filtración utilizando solo mecha, ocurre que el sólido se sedimenta en el filtro, formándose una capa adicional de lodo que dificulta la filtración del agua que queda en la parte superior del filtro.

Cuando se agrega un floculante aniónico a la mezcla de lodo con agua y se utiliza como medio filtrante mecha, el proceso de filtración se reduce a dos días aproximadamente, debido a que la capa de lodo que se forma en el filtro se compacta y se reduce dejando libre las paredes del filtro por donde el agua libre de sólidos escurre.

En el cuadro 10 se muestran las pruebas realizadas con diferentes proporciones del floculante

**CUADRO 10. EFECTO DEL FLOCULANTE EN DIFERENTES PROPORCIONES EN UNA MEZCLA DE 250 GRAMOS DE LODO Y 250 GRAMOS DE AGUA.**

Mezcla de 250 g de lodo y 250 g de agua	Concentración m/m %	Observación
Muestra 1	$4,99 \times 10^{-3}$	No se da una reparación adecuada.
Muestra 2	$9,99 \times 10^{-3}$	Se forma una masa pastosa y el líquido supernatante queda transparente.
Muestra 3	$1,49 \times 10^{-2}$	Se forma un sólido pastoso difícil de agitar.

Se determinó que la proporción utilizada de floculante de  $9,99 \times 10^{-3}$  % masa/masa en la muestra 2 es suficiente para que se de el fenómeno de floculación y el proceso de filtración ocurra más rápido. Para que el floculante sea efectivo en los lodos estos tienen que tener una proporción de agua 1 a 1.

Los lodos obtenidos después del filtrado tenían un 66 % de humedad para el lote 1 y un 63,3 % para el lote 2. A estos se les realizó el análisis de “Método y Procedimiento para determinar la característica de toxicidad por lixiviación (Test TCLP)-Método 1311<sup>(9)</sup> y se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en el cuadro 12 y que cumplen con el Reglamento para el Manejo de los desechos peligrosos industriales, decreto 27002-MINAE.

**CUADRO 11. CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADO EN LOS LODOS**

MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)			
	Cr <sup>+6</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Hg <sup>+2</sup>	As <sup>+3</sup>
SEGÚN DECRETO 27002-MINAE - S	5,0	5,0	0,2	5,0
LODO DEL LOTE 1	0,50 ± 0,12	< 0,2	0,061	0,124 ± 0,004
LODO DE LOTE 2	N.D*.	N.D.	0,004	0,022 ± 0,006

N.D\*. = No detectado

Después de haber realizado las pruebas a nivel de laboratorio y de planta piloto se generó un procedimiento general para el tratamiento de los metales pesados acuosos generados en el ITCR. (Ver anexo 6)

### 7.9 Tratamiento de cianuros.

Para el tratamiento de las escorias metálicas con cianuros se probaron dos métodos diferentes:

- Oxidación con Hipoclorito de sodio en medio básico (pH> 10)
- Oxidación con burbujeo de aire.



El desecho de cianuro es un sólido pastoso que está constituido de metales ferrosos, arenas y residuos de sales de cianuro y gran parte de este desecho es insoluble en agua, por lo que se debió realizar varias pruebas para determinar la proporción más adecuada de desecho y agua con el fin de extraer las sales de cianuro y que se forme una mezcla sólida – líquida fácil de agitar para que se realice adecuadamente la extracción, cuya concentración inicial de cianuro es de 0,18 mg/L.

Se determinó que la proporción desecho - agua más adecuada fue de 40 % masa/masa la cual después de decantar y tratar el líquido supernatante con el método del hipoclorito de sodio y el método de burbujeo con aire 48 horas se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver anexo 5, prueba 6)

**CUADRO 12. CONCENTRACIÓN DE CIANURO EN ESCORIAS**

	Conc inicial sin tratar (mg/L)	Conc final después tratamiento con NaClO /OH <sup>-</sup> (mg/L)	Conc Final después burbujeo de aire (mg/L)
Desecho con cianuro	<b>0,18</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Los dos métodos son efectivos, pero en el caso del burbujeo con aire es más conveniente debido a que es menos peligroso dado que en el caso del tratamiento con hipoclorito de sodio se requiere mantener el pH mayor a 10 y un exceso de cloro ( $5\text{Cl}_2 / 2\text{CN} = 6,83$  gramos / 1.0 gramos), para no permitir que se forme el cloruro de cianógeno, que es un gas tóxico.

## **8. PROCEDIMIENTO OPERATIVO PARA CENTRALIZAR EL TRATAMIENTO DE ALGUNOS DESECHOS PELIGROSOS DEL TEC EN LA PLANTA PILOTO.**

Para el tratamiento de desechos peligrosos con características similares y que se generan en gran cantidad en diferentes unidades del ITCR, se recomienda mezclar en un solo lote y tratarlos de forma centralizada en el **Laboratorio de Desechos Peligrosos**, para ello se propone el siguiente procedimiento.

1. Cada Centro de Investigación y Laboratorios del ITCR deben de contar y utilizar la “Guía de Manejo de desechos peligrosos del ITCR y la normativa aprobada por el Consejo Institucional para el manejo de desechos peligrosos en el ITCR” <sup>(11)</sup> con el fin de conocer las forma de proceder con el manejo adecuado de desechos peligrosos.
2. Cada fuente generadora debe hacer una solicitud al Laboratorio de desechos peligrosos, para el tratamiento de desechos que produzcan en cantidades de 5 a 10 galones.
3. La unidad solicitante debe cubrir el costo total del tratamiento y la disposición final del desecho.
4. La unidad solicitante debe trasladar los desechos peligrosos al laboratorio de desechos peligrosos siguiendo las medidas de seguridad correspondientes.

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

1. Los métodos probados para el tratamiento de los desechos acuosos de metales pesados y de escorias con cianuro fueron efectivos.
2. Los desechos peligrosos acuosos que son compatibles entre sí se deben mezclar para disminuir el costo y evitar realizar varias veces el mismo tratamiento.
3. Desechos con concentraciones mayores a las indicadas por el método se pueden tratar haciendo varias veces el procedimiento al líquido supernatante con el fin de evitar trabajar con volúmenes altos
4. Los desechos acuosos de metales pesados que no contengan mercurio no se deben mezclar con los que tienen mercurio.
5. Los desechos acuosos del ITCR que contienen mercurio, se deben tratar dos veces el líquido supernatante con carbón activado.
6. El tratamiento con sulfuro de sodio es eficiente para eliminar metales en concentraciones muy bajas (menor a 1ppm) después de que se ha realizado un tratamiento previo con hidróxido de sodio.
7. La filtración más efectiva se obtuvo al utilizar mecha de tela humedecida y un floculante aniónico en la mezcla a filtrar.
8. Los lodos obtenidos después del tratamiento no presentan peligrosidad pues cumple con la normativa para análisis de lixiviados y se pueden enviar a un relleno sanitario.
9. Se debe realizar pruebas del tratamiento a nivel de pequeños volúmenes de los desechos una vez mezclados, para determinar el comportamiento de estos antes del tratamiento a escala piloto, ya que se presentan variaciones de una matriz de desechos a otra aunque sean del mismo tipo de desechos o tengan el mismo origen.
10. Se recomienda buscar la menor dilución posible, para evitar el uso excesivo de agua y tener que manipular grandes cantidades de desechos durante el proceso de tratamiento.
11. Existe una guía de manejo de desechos y una normativa en el ITCR que da las pautas para el manejo adecuado de los desechos peligrosos, así como un laboratorio de desechos peligrosos donde se puede centralizar el tratamiento de algunos desechos peligrosos.

12. Cada generador de desechos peligrosos debe presupuestar el costo del tratamiento de desechos.

## 10. BIBLIOGRAFIA.

1. Quesada, H; Salas, J.C. "Guía de Manejo de desechos peligrosos en los Laboratorios del ITCR." Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 2006.
2. Gobierno de la República de Costa Rica. Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales "La Gaceta", N° 101, 1998.
3. Gobierno de la República de Costa Rica. Reglamento sobre las Características y el Listado de los Desechos Peligrosos Industriales. "Diario Oficial la Gaceta", N° 124, 1998.
4. Quesada, H; Salas, J.C."Manejo de desechos peligrosos en el ITCR. Primera Fase: Evaluación Preliminar." Informe Final Proyecto de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 2002.
5. La Grega, M.D. "Gestión de Residuos Tóxicos". Volumen1. McGraw. Hill. México. 1996.
6. Pérez, E. "Los residuos peligrosos en México". Programa Universitario de Medio Ambiente. UNAM. México. 1997.
7. Bravo, M. "Minimización de Residuos". Seminario Internacional. CYTED. Costa Rica, 1999.
8. Toledo, G. "Residuos Peligrosos". Programa Universitario de Medio Ambiente. UNAM. México. 1996.
9. Gobierno de la República de Costa Rica. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Decreto N° 33601-MINA-S "Diario Oficial La Gaceta", N° 55, 2007.
10. USEPA. Method 1311. "Toxicity Characteristic Leaching Procedure", Code of Federal Regulations, 40 CFR parts 261, Appendix II, July 1991.
11. Instituto Tecnológico de Costa Rica. "Normativa para el Manejo de desechos Peligrosos en el Instituto Tecnológico de Costa Rica". Sesión Ordinaria N° 2516. Gaceta del Instituto Tecnológico de Costa Rica. N° 227, 2007.

## **11. AGRADECIMIENTO.**

A la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) por el apoyo que se dio a este proyecto de investigación a través del envío del cooperante Dr. Katsuhiko Harada experto en desechos peligrosos y por la donación de los equipos que contribuyeron a la creación del laboratorio de desechos peligrosos del TEC.

## **ANEXO 1**

# **ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA PROCESAR DESECHOS EN MEDIO ACUOSOS**

Lab. Liquid Waste Process Procedure

Ver\_ 26th Agost 2005 K.HARADA

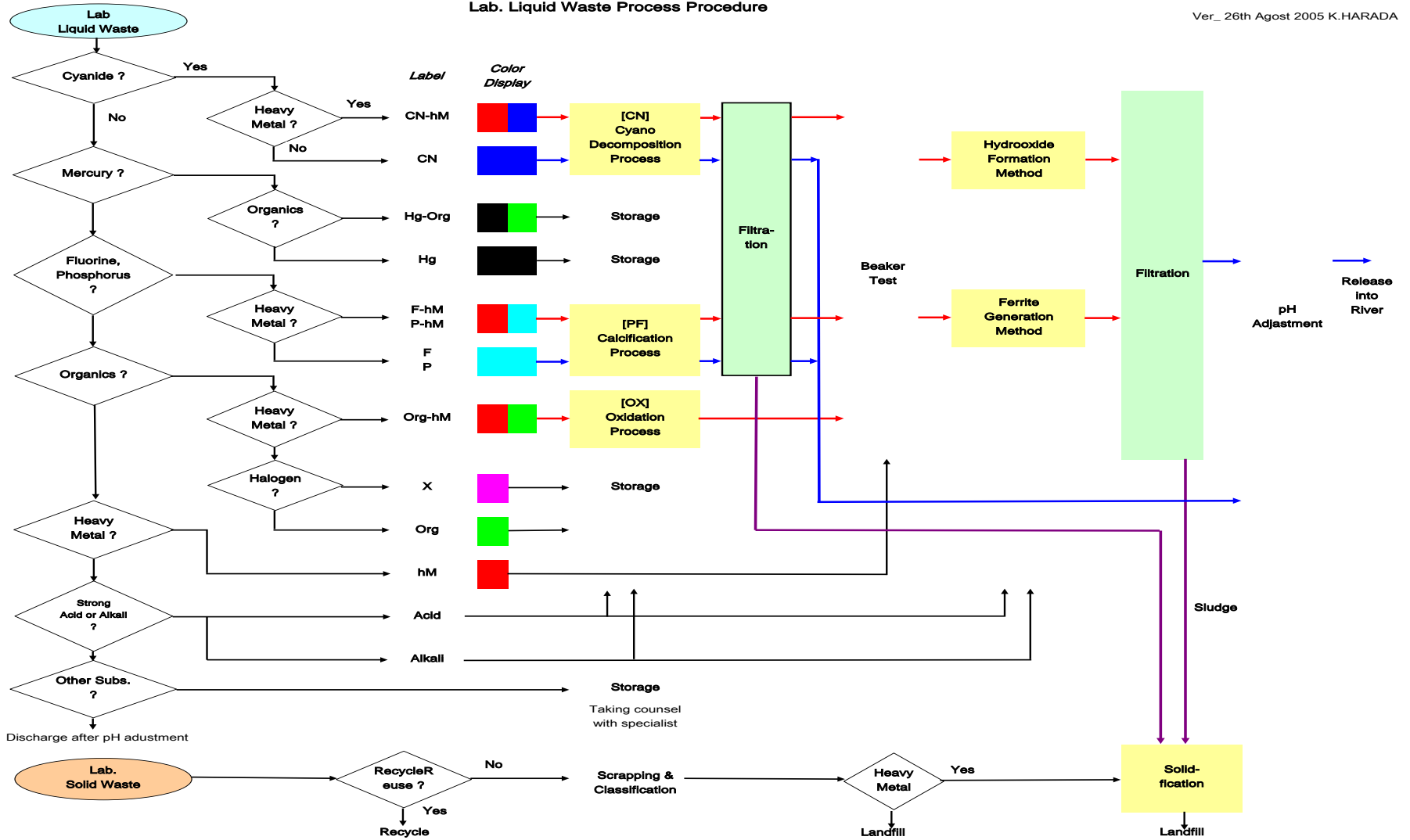


Figura 1. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA PROCESAR DESECHOS EN MEDIO ACUOSOS

**ANEXO 2**

**FOTOGRAFÍA DE REACTOR**





**Figura 2. Reactor, filtro y otros equipos, cooperante Japonés Dr. Harada y el embajador de Japón en Costa Rica**

**ANEXO 3**

**FOTOGRAFÍA DEL FILTRO**



**FIGURA 4. FILTRO UTILIZADO PARA LA SEPARACIÓN DE LODOS DEL LÍQUIDO SUPERNATANTE.**

## **ANEXO 4**

# **FOTOGRAFÍA DEL LABORATORIO DE DESCHOS PELIGROSOS**



**FIGURA 5. LABORATORIO DE DESECHOS PELIGROSOS DEL ITCR.**

**ANEXO 5**  
**PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO**

**CUADRO 1. PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO PARA DETERMINAR CONDICIONES EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO**

PRUEBA	CONDICIONES EXPERIMENTALES
<p align="center"><b>1</b> <b>(En beaker)</b></p>	<p>Se tomó 313 ml del desecho del lote 1 y se llevó a un volumen final de 2000 ml. Esto es similar de llevar 47 litros a 300 litros en el reactor y se trato con el método de sulfato ferroso (dilución 6,4). El pH inicial fue ajustado a 2,8 con ácido sulfúrico al 10% con agitación, se le agregó 300 ml de sulfato ferroso 7 H<sub>2</sub>O 1 Molar y se mantuvo en agitación por 20 minutos. Luego se ajusto el pH entre 9 y 10,0 con NaOH al 25 %, se burbujeó durante 1,5 horas. La temperatura sube a 65°C. El volumen final en el beaker fue de 2250 ml.(la dilución al final es de 7 veces)</p>
<p align="center"><b>2</b> <b>(En reactor)</b></p>	<p><b>Mezcla en el reactor:</b> Se colocó en el reactor 47,25 litros de desechos y se llevó hasta un volumen final de 190 litros (dilución 4,0 veces), se ajustó el pH a 2,8 añadiendo ácido sulfúrico al 10% con agitación y posteriormente se agregó 25 litros de FeSO<sub>4</sub> 1 Molar, manteniendo por 20 minutos la agitación. Se ajusta el pH a 9,94 con NaOH al 25 % se burbujeó durante 1,5 horas. La temperatura sube de 17,9°C a 60 °C. El volumen final fue 215 litros. (Dilución final es de 4,5 veces.)</p>
<p align="center"><b>3</b> <b>(En reactor)</b></p>	<p>Se bajó el pH del líquido supernatante a 5,1 y se le agregó 3,0 kg de Carbón activado, se agitó durante 30 minutos, se tomó una muestra para realizar análisis de Hg<sup>2+</sup>, el resultado de este es 0,05 ppm, como no cumple con la norma se procedió a agregar de nuevo 3,0 kg de carbón y agitar por 30 minutos más. Se reanaliza nuevamente el análisis de la concentración de Hg<sup>2+</sup> y se obtiene una concentración de 0,0024 mg /L, concentración que está por debajo de la normativa nacional</p>
<p align="center"><b>4</b> <b>(En reactor)</b></p>	<p>Se colocó 106,3 litros de desecho del segundo lote en el reactor, el pH inicial era de 0,23 se le agregó NaOH hasta pH 2,5 y se le agregó 443 gramos de sulfato ferroso granulado, se agitó durante una hora, se ajusta el pH a 5,8 y se añade 2,8 kg de carbón Vegetal. Para ajustar el pH a 10,81 se añadieron 9,0 kg de NaOH se agita por una hora y luego se deja en reposo 2 días.</p>
<p align="center"><b>5</b> <b>(En reactor)</b></p>	<p><b>Tratamiento del líquido supernatante con sulfuro de sodio.</b> Al líquido supernatante con pH de 9,82 y libre de sólidos en el reactor, se le agregó 1,0 kg de sulfuro de sodio al 38% de pureza, se agitó durante 1 hora y se dejó en reposo. Luego se le agrego 2,5 kg de carbón activado, se agito durante 3 horas y se dejó en reposo durante 24 horas y se tomo una muestra para analizarla.</p>

<p><b>Proceso de Decantación.</b></p>	<p>Para separar el sólido del líquido supernatante se realizó decantación drenando el líquido por medio de las tuberías que están en la parte superior del reactor en tres niveles diferentes de salida. En el fondo del reactor quedan los sólidos con gran contenido de agua los cuales son evacuados por la parte inferior del reactor. Estos son pasados a un filtro para separar el agua lo máximo que sea posible.</p>
<p><b>Proceso de Filtración</b></p>	<p>1. El proceso de filtración se realizó utilizando una capa de 2 cm de arena y 4 cm de mecha, luego se le puso la malla de acero inoxidable y se le agrega agua limpia para compactar las dos capas y evitar formación de grietas o canales, se deja filtrar el agua y luego se depositó el lodo obtenido del tratamiento y se fue abriendo la llave de salida del filtro poco a poco para que se iniciara el proceso de filtración. Las primeras porciones de filtrado venían mezclada con sólidos suspendidos pero con el tiempo al formarse una capa de sólido sobre el medio filtrante permitió que se separa mejor el líquido, saliendo solo agua.</p> <p>2. En el caso de utilizar solo mecha se pone 4 cm de mecha compactada y se humedece y se le coloca la malla de acero y luego se agrega la mezcla a filtrar.</p>
<p><b>6</b></p>	<p>Se prepara una mezcla en una proporción desecho: agua de 1:2 y se agita durante 30 minutos, luego se decanta, se determina la concentración inicial de cianuros para determinar la cantidad de hipoclorito de sodio requerida.</p> <p>Se mide el pH de la muestra y si es menor de 10 se ajusta agregando NaOH al 25 % hasta un pH mayor de 10,0. Se agrega con agitación el hipoclorito de sodio al 12 % controlando que el pH no sea menor de 10,0 se mantiene por 30 minutos la agitación con burbujeo de aire. Se toma una muestra y se analiza.</p>
<p><b>7</b></p>	<p>Se prepara una mezcla en una proporción desecho: agua de 1:2 y se agita durante 30 minutos, luego se decanta, se determina la concentración inicial de cianuros.</p> <p>Se ajusta el pH a 10,0 y se burbujea con aire durante 24 horas, se toma una muestra para analizar, si es positiva se continua el burbujeo por otras 24 horas más.</p>





## **ANEXO 6**

# **PROCEDIMIENTO GENERAL DEL TRATAMIENTO DE DESECHOS ACUOSOS DE METALES PESADOS DEL ITCR.**

# TRATAMIENTO DE METALES PESADOS EN MEDIO ACUOSO

## Proceso Operativo para el tratamiento de los desechos acuosos de metales pesados de LAB del TEC.

### 1. Evaluación de la mezcla de desechos.

- 1.1 Definir la fuente de generación del desecho y la composición química con el fin de determinar cuales se pueden tratar conjuntamente y los pasos del procedimiento a seguir en el tratamiento
- 1.2 Determinar la cantidad del desecho a tratar
- 1.3 Determinar la concentración de los contaminantes
- 1.4 Realizar un ensayo de laboratorio (beaker Tes.) con el fin de determinar la dilución y las cantidades de reactivos que se requieren en el proceso de tratamiento a nivel de planta piloto, debido a qué cada mezcla presenta características diferentes, por ejemplo presencia de materia orgánica e interferencias entre los metales a la hora de analizarlos.

### 2. Procedimiento para el tratamiento en el reactor

- 2.1 Definir la cantidad máxima de desecho a tratar según la capacidad del reactor (cantidad de desecho, cantidad de agua y cantidad de reactivos)
- 2.2 Colocar los desechos a tratar en el reactor y agregar agua hasta alcanzar la dilución correspondiente. (El volumen final son 200 litros).
- 2.3 Siga el procedimiento que se muestra en el siguiente cuadro según la composición del desecho.
- 2.4 Si los desechos no contienen sustancias orgánicas, ni cianuros no realice los pasos del 1 al 3, continúe con los pasos 4, 5 y 6.
- 2.5 Si el desecho no contiene mercurio no realizar los pasos 7, 8 y 9, continúe con el paso 10
- 2.6 Si los desechos no contienen fluoruros, ácido fosfórico y arsénico no realice el paso 10 y continúe con el paso 11 y hasta el paso 17

### 3. Evaluación efectividad del tratamiento.

#### 3.1 Líquido supernatante.

- 3.1.1 Se toma una muestra del líquido supernatante para analizar la concentración de los metales pesados tratado.
- 3.1.2 Si está por debajo de la Norma "de vertidos de agua" se lleva el pH entre 6 y 8.

- 3.1.3 Se dispone el líquido supernatante por el drenaje hacia la planta de tratamiento.
- 3.1.4 Si el líquido supernatante tiene concentraciones de los metales por encima de la norma se debe realizar nuevamente el tratamiento o tratar con sulfuros.

### **3.2 Lodos generados.**

- 3.2.1 Los lodos se filtran para eliminar la mayor cantidad de líquidos.
- 3.2.2 Se realiza la prueba de lixiviados (TCLP1311-EPA) a los lodos
- 3.2.3 Si los análisis dan concentraciones de los metales tratados por debajo de la norma, estos se envasan en cubetas plásticas y se envían al relleno sanitario.
- 3.2.4 Si los análisis dan concentraciones por encima de la norma se debe de estabilizar por medio de un proceso de solidificación.
- 3.2.5 Una vez solidificados debe repetirse la prueba TLCP1311-EPA con el fin de verificar que el desecho no produce lixiviados con concentraciones por encima de la norma nacional.
- 3.2.6 Los lodos estabilizados pueden ser enviados al relleno sanitario.

### **4. Filtración**

- 4.1 Los lodos con una humedad por encima del 60 % se pasan por un medio filtrante de arena fina y tela deshilachada
- 4.2 Si el lodo es muy fino se le puede incorporar un floculante para que el líquido se separe más rápido.
- 4.3 El proceso de filtración dura varios días
- 4.4 Una vez que el lodo no libera más líquido se saca del filtro
- 4.5 Se realiza la prueba TLCP1311-EPA

## CUADRO 1. Formación de Hidróxidos insolubles (Agua de desecho: 300 Litros)

18 t h Jan. 2006 K. HARADA

1	Ajustar el pH por encima de 10,0 con NaOH al 25 %	Oxidación de materia orgánica y Cianuros en concentración por debajo de 200 ppm.
2	Añadir disolución de Hipoclorito de sodio [NaClO] al 13 % en una relación de (5Cl <sub>2</sub> /2CN= 6,83gramos/1gramos) o hasta que [ORP] > 400mV	
3	Agite con aire durante 30 minutos manteniendo el PH por encima de 10,0 y el ORP> 400mV	
4	Ajustar el pH a 2,8 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 10 % con agitación	
5	Añadir disolución de (F e S O <sub>4</sub> ) : no menos de 880 gramos y bisulfito de sodio (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) no menos de 62 gramos o manteniendo el ORP = +500 mV	Reducción
6	Mantenga el pH=2,8 por 20 minutos	
7	Ajuste el pH a 5,1 con NaOH al 25 %	
8	Añadir entre 2,5 y 5 kilogramo de carbón activado	Procedimiento para tratar mercurio en bajas concentraciones y sustancias orgánicas
9	Mantener el pH=5,1 por 30 minutos con agitación	
10	Ajustar el pH entre 7,5-8,0 con NaOH al 25 % y mantenerlo durante 20 minutos.	Eliminación de fluoruro, ácido fósfórico, y arsénico
11	Ajustar el pH a 10,8 con NaOH al 25 % y agitar con aireación durante 30 minutos	Eliminación de amonio
12	Añadir Disolución al 40 % de Cloruro de Hierro (III) (FeCl <sub>3</sub> ) y mantener el pH>10	Floculante
13	Ajustar el pH a 10,8 (NaOH)	Eliminación de metales pesados.
14	Agite con aire y mantenga el pH = 10, 8 por 30 minutos	
15	Ajustar el pH a 8,0 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	
16	Añadir un coagulante polimérico (no aniónico)	
17	Filtración	
18	Ajustar el pH a 7,0 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	