

*Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.*  
*Facultad de Ingeniería.*  
*Departamento de Ingeniería Química*



# *Trabajo de Diploma*

*Título: Tecnología para el manejo de las soluciones arsenicales,  
generadas en la planta de Fertilizantes de Cienfuegos  
(EQUIFA).*

*Autora: Estela Margarita Llano Avilleira.*

*Tutor: Laimi Pisch Vidal*

*Consultantes: Dr. Wilfredo Francisco Martín.*

*Cienfuegos, 2014*



*Pensamiento* 



*“El hombre puede hacer de si mismo muchas cosas producto de su propio esfuerzo físico y espiritual y el que se proponga cultivar la virtud, la cultiva; el que se proponga alcanzar una moral más alta, la alcanza; el que se proponga adquirir más conocimientos, los adquiere; el que se proponga ser mejor estudiante, puede llegar a ser mejor estudiante; el que se proponga alcanzar los más altos niveles de conocimiento, los alcanza”.*

*Fidel Castro Ruz.*



*Dedicatória*★

*Este trabajo se lo dedico a toda mi familia que me adora y que siempre está presente cuando la necesito, ellos son la razón de mi existir. A mi mamá, mi papá, mi hermana que los amo y viven pendiente de mi, al sobrino que más yo quiero, mi cuñado, mis tíos, en especial a Pancho que siempre está cuidándome aunque pelee, pero sobre todo a mi abuela Margot por su comprensión y dedicación, a mi abuela Estela que siempre reza en mi nombre. En fin a todas las personas que me quieren.*



*Agradecimientos*★

*Le agradezco a todo el claustro de profesores que han contribuido a mi formación profesional, a mi tutora Laimí, a la China, al profe Wifredo que me han ayudado en la confección de este trabajo, y por supuesto a mi familia por su preocupación.*

*A todas aquellas personas que es imposible enumerar, pero que han colaborado de una forma u otra para la confección de esta tesis.*

*A todos mil Gracias....*



## **Resumen**

Durante el proceso de producción del amoníaco se generaban residuos con contenido de arsénico, el mismo es considerado una sustancia tóxica y por consiguiente dañina para la salud del hombre y el medio ambiente, además puede ocasionar impactos ambientales a los ecosistemas aledaños a la instalación, por lo que se hace necesario buscar alternativas a fin de hallar una vía de solución.

Como resultado del proceso productivo obsoleto existe en Cienfuegos un total de 2 096 m<sup>3</sup> de una solución residual con un contenido de arsénico equivalente a 1,90 g/L.

El presente trabajo se titula “Tecnología para el manejo de las soluciones arsenicales, generadas en la planta de Fertilizantes de Cienfuegos (EQUIFA)” y tiene como objetivo general proponer una tecnología para el manejo de la solución arsenical generada en la antigua planta de amoníaco. Para el desarrollo de esta investigación fue preciso apoyarse en la revisión de documentos, entrevistas con trabajadores de la fábrica y métodos de análisis químico.

La selección de la propuesta tuvo como base el análisis químico realizado a la muestra de la solución arsenical existente en la empresa, el estudio de varias tecnologías propuestas con anterioridad, la aplicabilidad de la propuesta, así como la posibilidad de utilizarla en otros tipos de desechos, o en otros lugares donde exista una situación similar a esta, y pretende disminuir el volumen de la carga contaminante almacenada para su posterior confinamiento en condiciones seguras.

Palabras clave: solución arsenical, planta de fertilizantes.



# *Summary*



## **Summary**

During the process of production of the ammonia, residuals were generated with arsenic content, the same one is considered a toxic and consequently harmful substance for the man's health and the environment, it can also cause environmental impacts to the ecosystems bordering to the installation, for what becomes necessary to look for alternative in order to find a solution way.

As a result of the obsolete productive process a total of 2 096 m<sup>3</sup> of a residual solution exists in Cienfuegos with a content of equivalent arsenic to 1, 90 g/L.

The present work is titled Technology for the handling of the arsenicals solutions, generated in the plant of Fertilizers of Cienfuegos (EQUIFA) and it has as general objective to propose a technology for the handling of the arsenical solution generated in the old plant of ammonia. For the development of this investigation it was necessary to lean on in the revision of documents, interviews with workers of the factory and methods of chemical analysis.

The selection of the proposal had like base the chemical analysis carried out to the sample of the arsenical solution existent in the company, the study of several technologies proposed previously, the applicability of the proposal, as well as the possibility to use it in other types of waste, or in other places where a similar situation exists to this, and it seeks to diminish the volume of the polluting load stored for its later storage under sure conditions.

key words: arsenical solution , plant of Fertilizers.



## Índice

Introducción .....	1
<b>Capítulo I. Confinatorios de desechos peligrosos. Fundamentos Generales .....</b>	<b>5</b>
1.1. Antecedentes históricos .....	5
1.2. Definición de Confinatorios o Reservorios de desechos peligrosos .....	6
1.2.1. Características de los confinamientos .....	6
1.3. Tipos de Residuos. Definición y características.....	10
1.3.1 Residuos peligrosos .....	11
1.3.2 Manejo de residuos peligrosos.....	13
1.4. Arsénico, propiedades y tecnologías para su tratamiento .....	15
1.4.1. Propiedades físico químicas del Arsénico.....	15
1.4.2. Impactos que produce el Arsénico en el Medio Ambiente y la salud de hombre .....	16
1.5. Tratamientos para la remoción del arsénico utilizados en el mundo .....	17
1.6. Entornos adecuados para el almacenamiento y manipulación del arsénico.....	21
1.7. Marco regulatorio para el manejo de los Residuos peligrosos.....	21
Conclusiones Parciales: .....	24
<b>Capítulo II. Residuos arsenicales. Tratamiento y disposición final .....</b>	<b>25</b>
2.1. Situación de los residuos peligrosos en Cuba. Residuos arsenicales.....	25
2.2. Conjunto de acciones para confinar los desechos peligrosos.....	27
2.3 Caracterización de la antigua Empresa de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos.....	28
2.3.1 El proceso de la Planta de Amoniaco. Usos del arsénico durante el proceso. ....	29
2.4 Materiales y Métodos Utilizados para Realizar la Caracterización de la Solución Arsenical que Contiene el Tanque 22T09A. ....	34
2.4.1 Informe con la metodología para obtener los resultados de la muestra.....	35
2.4.2 Resultados obtenidos luego de analizar la muestra tomada del tanque 22T09A. ....	37
2.5 Descripción de la propuesta de Tecnología: .....	38
2.5.1. Confinamiento del sólido resultante con contenido de arsénico .....	41
2.6. Datos a tener en cuenta para la evaluación Económica.....	42
Conclusiones parciales.....	44

<b>Conclusiones Generales .....</b>	<b>45</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>46</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexos</b>	



# *Introducción*★

## **Introducción**

A lo largo de la historia de la humanidad los hombres han estado utilizando el medio natural como una fuente inagotable de recursos, para la satisfacción de sus propias necesidades, ocasionando con ello, el consiguiente deterioro al medio ambiente, situación cada vez más comprometida, desde la inequidad asumida en los patrones de consumo y la diferencia geopolítica que ha imperado, lo que coloca en una incertidumbre las bases logrables de un desarrollo verdaderamente sustentable.

La humanidad en la actualidad se enfrenta a un dilema que preocupa e implica a todos: el manejo racional y destino final de los desechos peligrosos, los cuales hacen su presencia más fuerte a un ritmo todavía posible de detener debido a la falta de escrúpulos de una minoría que manejan las grandes industrias en este mundo globalizado. Por ello se hace necesario y urgente potenciar la aplicación de mecanismos ya establecidos para contribuir a un adecuado procesamiento final de las sustancias tóxicas y su impacto en la sociedad, desde elementos políticos, económicos y sociales, y el análisis del papel que desempeña la ciencia y la tecnología tanto desde su imagen tradicional como la implicación del hombre. (Galvis, 2009)

Para su desarrollo continuo, el hombre ha utilizado procesos industriales y químicos necesarios para la dinámica y el mundo competitivo, pero hasta la actualidad le ha preocupado qué hacer con el excedente resultante de las producciones, así como con los desechos peligrosos y sustancias tóxicas que se emanan de dichos procedimientos. (Rossell, 2011)

A escala mundial y regional se evidencia un alza referente a los residuos peligrosos que han aumentado debido al crecimiento industrial; lo que provoca que se expulsen al medio ambiente sustancias contaminantes que afectan todo ser vivo como se ha hecho mención.

Después del triunfo de la Revolución, en el país se experimenta un acelerado desarrollo industrial que potenció la ampliación o creación, entre otras, de la industria minero-metalúrgica, la síntesis industrial de fertilizantes, la producción de cemento y otros materiales de la construcción, la elaboración de toda una

gama de productos alimenticios, la obtención de plásticos y gomas, las destilerías, la manufactura de papel y fibras textiles. Se abrió espacio a un nuevo problema no previsto inicialmente en toda su magnitud: la contaminación ambiental de la atmósfera y de las aguas (ECURED, 2012)

La crisis económica de los 90, tuvo una expresión importante en cuanto al inevitable cierre o contracción de las producciones de toda la industria del país. Sin embargo, la propia crisis generó nuevos problemas y condicionó los estudios sobre el desarrollo de tecnologías sostenibles que protegieran al medio ambiente.

Como resultado de estos procesos en Cuba existe una cantidad elevada de desechos peligrosos que se generan en las industrias, laboratorios, instalaciones de salud y científico-técnicas, entidades de servicios y otros, distribuidos y almacenados en diferentes entidades, por todo el territorio nacional. (Linares, 2013)

Los productos químicos caducados e inactivos como el arsénico, cromo, cadmio entre otros, se han acumulado por años, muchas veces en condiciones inseguras por el mal estado de los envases a expensas que ocurra un accidente poniendo en peligro los ecosistemas que rodean el lugar donde se encuentran ubicados, con la posibilidad de contaminar los elementos agua, aire y suelo.

Es evidente que estos desechos peligrosos precisan de un adecuado manejo, en cuanto al procesamiento y almacenamiento ya que representan un riesgo para la salud del hombre y el medio ambiente en general, lo que permitirá la búsqueda continua de entornos sostenibles, que garanticen un desarrollo socioeconómico equitativo, viable y soportable que involucre al medio ambiente y a la sociedad.

Es por esto que se hace necesario encontrar alternativas en Cuba que permitan la solución de esta problemática.

Como consecuencia de la producción de fertilizantes se generan residuos tóxicos, entre ellos encontramos soluciones arsenicales y equipos que están contaminados con arsénico.

La antigua planta de fertilizantes nitrogenados de Cienfuegos no está ajena a esta situación. En esas instalaciones se encuentra hoy la empresa Química de

este territorio (EQUIFA), y cuenta en su inventario con grandes volúmenes de residuales arsenicales sólidos y líquidos almacenados en condiciones que no son las ideales.

Esta investigación centra su estudio en la solución que contiene el tanque 22T09A en la empresa antes mencionada. Luego del diagnóstico realizado, teniendo como base el análisis de los documentos, y el estudio de la bibliografía se determina como problema científico: ¿Cuál es la tecnología más apropiada para el manejo adecuado de una solución arsenical, generada en la planta de Fertilizantes de Cienfuegos?

**Objetivo general:** Proponer una tecnología para el manejo de soluciones arsenicales, generadas en la planta de Fertilizantes de Cienfuegos.

**Objetivos específicos:**

- Determinar las propiedades físico-químicas de la solución arsenical que contiene el tanque 22T09A.
- Establecer las condiciones de transportación, almacenamiento y manipulación de los lodos arsenicales.
- Identificar las tecnologías de tratamiento.
- Proponer una tecnología para su procesamiento.

**Hipótesis:**

El empleo de una tecnología que utiliza la oxidación con la adición de sulfito de sodio y aire a la solución, aplicando luz ultravioleta, se obtiene como producto final un lodo y la solución inocua que permitirá un manejo adecuado del producto.

**Métodos teóricos**

- **Análisis histórico – lógico:** con la finalidad de analizar el desarrollo histórico de la industria y los problemas ambientales en el mundo, en Cuba y en Cienfuegos.
- **Analítico – sintético:** su utilización permitió el análisis de toda la información obtenida en los diferentes instrumentos aplicados y su integración para proponer una tecnología para el procesamiento de la solución arsenical.

### **Del nivel empírico:**

- **Análisis de documentos:** Fueron objeto de análisis el inventario de desechos peligrosos realizado por el CITMA, documentos existentes en la antigua empresa de fertilizantes.
- **Entrevista:** Con trabajadores de la antigua empresa de fertilizantes de Cienfuegos para conocer el proceso productivo de la planta de amoníaco en esa empresa.
- Trabajadores de la actual empresa química del territorio para conocer el estado actual del desecho.

**Análisis químicos:** Para este análisis fueron utilizadas una sonda multiparamétrica Hanna Instruments, un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Modelo GBC-Avanta, Australia y un Horno de Grafito (GF3000) con automuestreador (PAL3000).

**Aporte práctico:** Consiste en la tecnología propuesta para la oxidación química de la solución por medio de la adición de sulfito de sodio y aire a la solución y aplicando luz ultravioleta obteniendo como producto final lodo y la solución tratada.



*Capítulo 1*★

## **Capítulo I. Confinatorios de desechos peligrosos. Fundamentos Generales**

### **1.1. Antecedentes históricos**

La acumulación y producción desmedida de los residuos, producto de los procesos tecnológicos de las industrias, así como el empleo de reactivos, con el propósito de realizar análisis de calidad a materias primas y productos terminados en los diferentes laboratorios a nivel mundial, ha tenido relevancia en las últimas décadas, esto trae aparejado que grandes volúmenes de estas sustancia queden en poder de la empresas, las cuales no le dan utilidad debido a cambios de tecnologías o simplemente el hecho de que los productos están caducados, por lo que su almacenamiento y guarda ha traído consecuencias para el deterioro del entorno, así como problemas ambientales afectando los ecosistemas que la rodean. (Duartes, 2010)

Los problemas ambientales que existen hoy en la actualidad ponen en peligro el futuro de la tierra, por lo que a nivel mundial se trata de buscar alternativas que mitiguen este problema, cada industria es responsable de sus desechos, los cuales, a través de diferentes programas, deben buscar la mejor solución para su reutilización o confinamiento, principalmente aquellos que son de difícil degradación y perduran en el tiempo como sustancias puras o mezclas de ellas

La industrialización a nivel mundial a alcanzado en las últimas décadas un desarrollo vertiginoso por lo que todos los días se generan grandes volúmenes de desechos peligrosos, los cuales hay que confinar. En Cuba existen lugares declarados al efectos, producto de el alto costo de su inversión.

En América Latina se generan aproximadamente 865 mil toneladas/día de residuos industriales, de los cuales 15 500 son peligrosos. Desgraciadamente, menos del 10% de los residuos peligrosos son tratados adecuadamente, el 90% restante se desalojan en arroyos, basureros municipales o simplemente en el drenaje, lo cual pone en grave riesgo la salud pública. (Moreno, 2010)

En Cuba la generación de desechos peligrosos sobrepasa las 100 000 toneladas anuales, siendo las mayores cantidades las correspondientes a residuos de mezclas de hidrocarburos y agua, que incluye los aceites usados y los residuos

de ácidos y bases empleados en procesos productivos. El manejo adecuado de estos desechos constituye una prioridad de la gestión ambiental en el país. (Rossell, 2011)

## **1.2. Definición de Confinatorios o Reservorios de desechos peligrosos**

Reservorio o confinatorio de desechos peligrosos: Es el proceso de aislar y cofinar, los desechos y productos químicos peligrosos caducados y ociosos, en forma definitiva en lugares especiales, seleccionados y diseñados, debidamente autorizados para evitar la contaminación y daños a la salud humana y al medio ambiente. (Gonzalez, 2013)

**Confinar:** Es encerrar una cosa material o inmaterial dentro de unos límites, especialmente estrechos.

### **1.2.1. Características de los confinamientos**

Actualmente en el mundo constituye una prioridad el tratamiento que se le da a los residuos industriales, de forma que generalmente es el propio generador quién se encarga de la reducción de su generación y peligrosidad en la fuente, en particular, mediante la adopción de procesos productivos más limpios.

La segunda prioridad es la reutilización, reciclado y recuperación, vista como una oportunidad para integrar cadenas productivas en donde los generadores se responsabilicen del costo de un manejo adecuado, así como de generar nuevas ramas de actividad económica y oportunidades de empleo.

El tratamiento constituye la tercera opción y tiene como propósito destruirlos o reducir su volumen y peligrosidad. El confinamiento es considerado como la última alternativa y sólo para aquellos residuos que no puedan ser manejados de otra manera. (Pérez, 2008)

Existen varias formas de confinamiento destinadas al aislamiento de las aguas o suelos contaminados, de forma que su objetivo básico es evitar que esa contaminación se transfiera lateralmente. Por lo general son de aplicación cuando la contaminación está muy localizada y no resulta viable ninguna de las demás alternativas

El aislamiento o confinamiento se basa, en cualquier caso, en la construcción de barreras, que pueden ser de muy diversos tipos (Romero, 2008):

Barreras de lodo                    - Lechada de cemento        - Barreras químicas  
Barreras de paneles            - Membranas sintéticas    - Vitricación in situ

Además se construyen reservorios de sustancias peligrosas con la finalidad de proteger el medio ambiente en general, preservar el equilibrio ecológico y eliminar los efectos contaminantes.

Los riesgos que ocasionan la construcción de estos espacios son múltiples, debido a la acumulación de sustancias tóxicas o inflamables, por lo que es necesario tener en cuenta su almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final. Un inadecuado manejo de los residuos, trae como consecuencia no solo las afectaciones ambientales, sino también afectaciones de carácter económico y social, agravándose esta situación cuando se trata de residuos clasificados como peligrosos y de manejo especial.

Para la construcción de un confinamiento de residuos peligrosos es necesario tener en cuenta la topografía (características del terreno) y la geohidrología (características del agua subterránea en el suelo y las rocas). También se debe considerar la proximidad al lugar donde se producen o de donde provienen los residuos peligrosos, el uso del terreno y las condiciones ambientales. (Moreno, 2010)

El propio autor determina que dentro de las instalaciones del confinamiento controlado, los residuos peligrosos son segregados y almacenados en celdas de acuerdo a la compatibilidad de los residuos. Las celdas miden entre 5 - 6 metros de altura. Los residuos depositados en estas celdas son comúnmente almacenados dentro de barriles con capacidad de 55 galones. Diariamente se coloca una capa de 0,3 metros de suelo compacto por encima del confinamiento para ayudar a disminuir las emisiones de polvo y gases de sustancias peligrosas.

Todos los cargamentos de residuos peligrosos que entran en el confinamiento controlado son inventariados para verificar los materiales que entran en las

instalaciones. Esta información determina el método de tratamiento que se debe utilizar y como almacenar apropiadamente el material. (Moreno, 2010)

EL suelo que conforma la capa inferior del confinamiento controlado de residuos peligrosos es típicamente arcilla. La arcilla es considerada como una barrera natural que retarda y previene el escurrimiento de lixiviado. Además de la capa de arcilla, también se utiliza un forro de geomembrana doble hecho de variados materiales plásticos como protección adicional. Por encima de cada uno de estos forros se coloca un sistema de drenaje para capturar el lixiviado. La planta de tratamiento que se encuentra dentro de las instalaciones de confinamiento controlado, limpia el lixiviado para prevenir la liberación de sustancias peligrosas. (Moreno, 2010)

Los confinamientos controlados de residuos peligrosos cuentan también con una capa o cubierta superior impermeable para minimizar la exposición en la superficie de las instalaciones, prevenir el movimiento de residuos y restringir la infiltración de agua superficial dentro del confinamiento. Esta capa superior funciona como superficie del terreno capaz de mantener vegetación y/o ser utilizada para otros fines o propósitos. Estas cubiertas generalmente consisten de una franja superior de suelo superficial; una capa de drenaje; y una capa de baja permeabilidad construida de un material sintético que cubre una capa de arcilla compacta de 2 pies de espesor, como se muestran en la figuras 1 y 2 (Moreno, 2010)

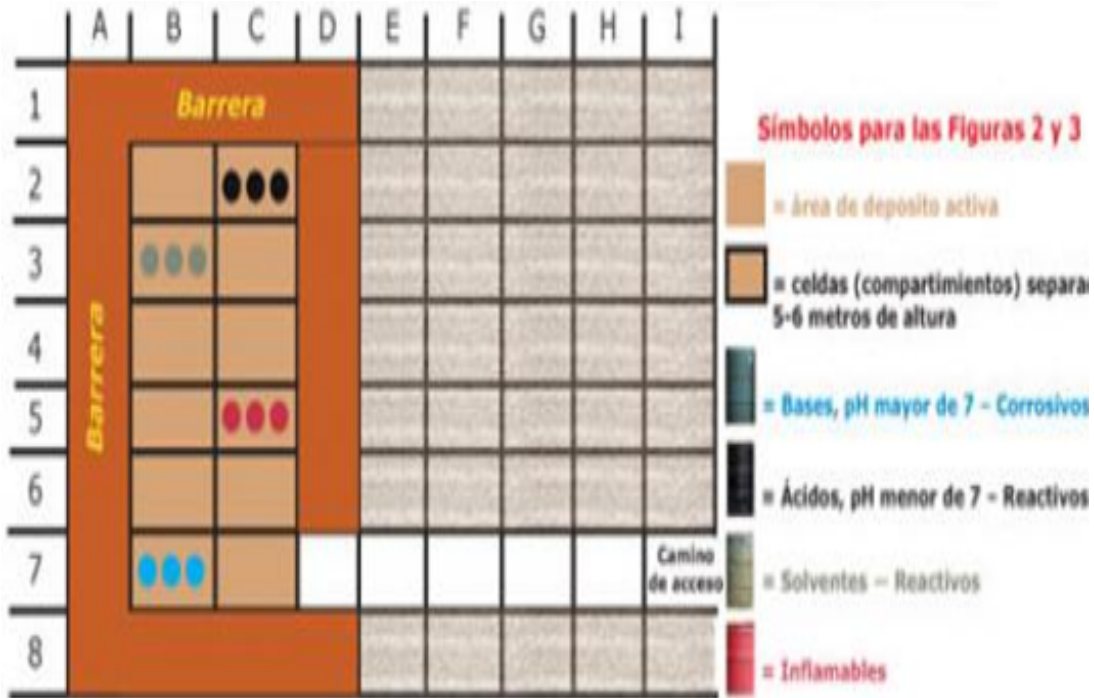


Figura 1. Vista aérea que muestra una red típica de distribución de los materiales en un confinamiento controlado de residuos peligrosos. (Moreno, 2010)

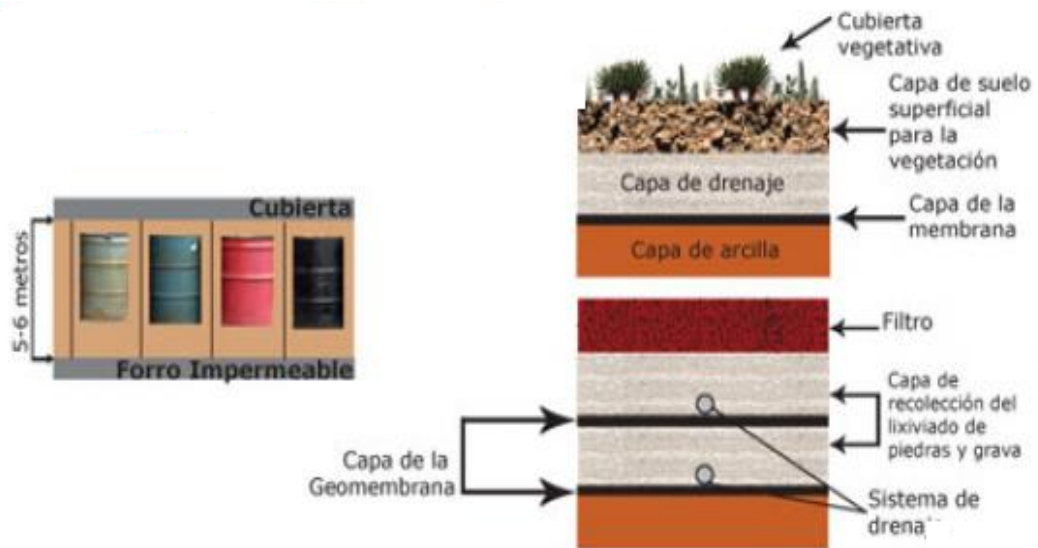


Figura 2. Vista de corte transversal de un confinamiento controlado de residuos peligrosos con una ampliación de la vista de una cubierta y forro impermeable. (Moreno, 2010)

Ineludiblemente para el desarrollo de esta investigación resulta de utilidad el estudio de esta última variante de aislamiento. Un confinamiento para residuos peligrosos es un lugar totalmente seguro que se construye con el fin de recibir residuos de cierto tipo y donde se invierte en la más alta tecnología. Debe instalarse en lugares alejados de los centros de población y, sobre todo en donde exista poca lluvia y no pasen corrientes de agua subterránea, pues el objetivo es reducir al mínimo posible el riesgo.

### **1.3. Tipos de Residuos. Definición y características**

Desde sus inicios, el hombre ha depositado sus residuos en torno a sus asentamientos. La complejidad y la diversidad de la actividad humana, a través de la historia, han marcado las pautas y conductas en su tratamiento y disposición final. Las grandes epidemias y lamentables accidentes ocurridos, constituyen el ejemplo más elocuente del alto precio que debe pagar la humanidad por el mal manejo de sus desechos. (Galvis, 2009)

Este propio autor considera que es importante señalar la diferencia entre tres tipos de residuos:

- a) Residuos sólidos municipales: Representa la basura que generamos en hogares, carece de toxicidad y va a los confinamientos municipales.
- b) Residuos industriales: Son los residuos generados en los procesos de transformación, como consecuencia de ineficiencias en el uso de las materias primas y de la energía, así como de la propia complejidad de gran parte de las materias primas y energéticas en cuanto a su constitución, ejemplos de ello tenemos fabricación de polímeros, pesticidas, productos farmacéuticos, pigmentos, etc. producen una gama diversa de residuos peligrosos en cantidades importantes.
- c) Residuos peligrosos: Productos que una vez cumplido su ciclo de vida útil son desechados o destinados al abandono. Una amplia gama de ellos merecen, por su naturaleza y constitución, la consideración de sustancias peligrosas, agentes de limpieza, baterías y aceites lubricantes usados constituyen, entre muchos

otros, ejemplos representativos, también involucran los originados en operaciones de tratamientos, los cuales no se destruyen sino que experimentan transformaciones parciales o se transfieren de una fase a otra, con lo que se originan nuevos productos que requieren a su vez algún tipo de gestión. Ejemplos de sustancias generadas por esta vía son los lodos resultantes de la depuración de aguas residuales industriales contaminadas por metales pesados.

Los residuos sólidos se generan tanto en la actividad doméstica como industrial, y constituyen un problema ambiental crítico en la sociedad industrial moderna. Presentan diferentes características físicas y químicas; una vez depositados en el medio ambiente, están sujetos a transformaciones, debido a los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, lo que puede facilitar su transporte, dependiendo de sus propiedades y de las características geoquímicas del medio. (Gutiérrez, 2013)

Atendiendo a las principales características o propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos existentes en nuestro país los cuales serán objeto de confinación nos referimos en este trabajo solo a aquellas sustancias clasificadas como peligrosas.

### **1.3.1 Residuos peligrosos**

Los desechos peligrosos son aquellos provenientes de cualquier actividad y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, explosivas, inflamables, biológicamente perniciosas, infecciosas, irritantes o cualquier otra que representen un peligro para la salud humana y el medio ambiente (Rossell, 2011).

Según estudios del Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, La producción mundial de residuos peligrosos podría estimarse en una cifra superior a los 350 millones de toneladas al año, dato más que elocuente en relación con la magnitud del problema. El 90% de esta cifra corresponde a los países industrializados, en los que se concentra la mayor parte del problema. (Montaño, 2009)

Los desechos peligrosos se pueden clasificar según le corresponde al sistema de numeración de clases de peligros de las Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercaderías Peligrosas (ST/SG/AC.10/1/Rev.5, Naciones Unidas, Nueva York, 1988), y referenciados en el Anexo III del Convenio de Basilea donde se encuentran las características de peligrosidad más aceptadas a nivel internacional para estas sustancias en:

**Explosivos:** toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.

**Líquidos inflamables:** se entiende aquellos líquidos, o mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc. pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60,5 °C, en ensayos con cubeta cerrada, o no más de 65,6 °C, en ensayos con cubeta abierta.

**Sólidos inflamables:** Se trata de los sólidos o desechos sólidos, distintos a los clasificados como explosivos, que en las condiciones prevalecientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.

**Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea:** Se trata de sustancias o desechos susceptibles de calentamiento espontáneo en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que pueden entonces encenderse.

**Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables:** Sustancias o desechos que por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.

**Oxidantes:** Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles pueden en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.

Peróxidos orgánicos: Las sustancias o los desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -o-o- son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición autoacelerada exotérmica.

Tóxicos (venenos) agudos: Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.

Sustancias infecciosas: Sustancias o desechos que contienen microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.

Corrosivos: Sustancias o desechos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que, en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, otras mercaderías o los medios de transporte; o pueden también provocar otros peligros.

Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua: Sustancias o desechos que, por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.

Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos): Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénesis.

Ecotóxicos: Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos. (Basilea, 2011)

La generación de residuos peligrosos ha aumentado progresivamente, la causa principal es la intensificación y diversificación de la actividad industrial, la que aparece asociada de manera muy destacada en la producción de ese grupo genérico.

### **1.3.2 Manejo de residuos peligrosos**

El manejo, conocido también como gestión de los desechos peligrosos abarca todas las operaciones que se pueden realizar con los mismos, una vez que han

sido generados incluye los procesos de minimización, reciclaje, recolección, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición. Actualmente, los países industrializados tienden a promover la minimización y reciclaje de los residuos peligrosos como la opción desde el punto de vista ambiental. (Galvis, 2009)

La principal vía para la solución de los problemas asociados al manejo de los desechos peligrosos es reducir al mínimo, disminuir su generación. Éste es uno de los principios que promueve la Producción Más Limpia, entre sus objetivos se encuentran “ aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a la vida humana y al medio ambiente, ella no niega el crecimiento económico, insiste simplemente en que este sea ambientalmente sostenible” (Linares, 2013). Su introducción en las actividades productivas y de servicios garantizará que se reduzcan estas sustancias en un futuro.

Sin embargo, la situación actual de nuestros países está dada por la acumulación de cantidades apreciables de desechos peligrosos, algunas de las cuales no cuentan ni con adecuadas condiciones de confinamiento, en espera de disponer de los recursos financieros necesarios para su solución definitiva. (Rossell, 2011)

Hay varias alternativas para el manejo de los residuos peligrosos, (Duartes, 2010) plantea que las principales son las siguientes:

**Reciclaje:** La alternativa más productiva es la que después de un proceso específico convierte a los residuos peligrosos en materia prima que se puede utilizar después en otro proceso productivo diferente.

**Destrucción:** También existe la opción de destruir los residuos peligrosos, al hacerlo las cenizas generadas pueden ser confinadas de una manera mucho más práctica y así ser clasificados como residuos estabilizados. Un ejemplo son los medicamentos caducos o fuera de especificaciones.

**Confinamiento:** Los residuos peligrosos se destoxifican, se separan y concentran los componentes peligrosos en volúmenes reducidos y finalmente se estabilizan para evitar la generación de lixiviados.

Es ineludible que para obtener una gestión eficiente y eficaz en el manejo de desechos peligrosos es importante eliminar la generación de los mismos si es posible, si esto no se logra es necesario buscar la manera de reducir su generación en la producción (disminuir su cantidad), tener en cuenta su reutilización y reciclaje. En el caso de la disminución de los residuos si no es muy eficiente o no funciona de forma adecuada se puede utilizar un tratamiento para los mismos, y si el tratamiento utilizado no es efectivo, corresponde ir pensando en el destino final que esos desechos requieren.

Teniendo en cuenta la problemática planteada con anterioridad se hace necesario el estudio de los métodos de tratamiento para residuos peligrosos industriales con contenidos de metales pesados, (arsénico), como vía de solución para la disposición final de este tipo de desecho.

#### **1.4. Arsénico, propiedades y tecnologías para su tratamiento**

El término de metales pesados se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y se caracterizan por ser tóxicos o venenosos en concentraciones bajas, son componentes naturales de la corteza terrestre, no pueden ser degradados o ser destruidos. El arsénico se encuentra en la lista y es el metal pesado que ocupa nuestra investigación.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) afirma que los metales pesados, los plaguicidas y los disolventes demandan una atención especial por sus características y peligrosidad, pues tienden a bioacumularse poniendo en riesgo la salud del hombre. (Echeverría, 2008)

##### **1.4.1. Propiedades físico químicas del Arsénico**

Es necesario tener en cuenta la estabilidad y reactividad del arsénico, para así evitar incidentes peligrosos que afecten o pongan en peligro la vida del hombre. Por lo que se precisa conocer con qué sustancias reacciona este elemento con el objetivo de prevenir un accidente.

El arsénico como sustancia simple se caracteriza por la formación de cristales quebradizos grises, es inodoro, su densidad relativa en agua es de 5,7 g/mL, es prácticamente insoluble en agua, sublima a los 613 °C. (Romero, 2008)

Es poco probable encontrarlo en la naturaleza en su forma simple, generalmente se presenta en forma de sulfuros. Se clasifica según la resolución 136/2009 del CITMA como y-24, consistente con la clasificación de muy tóxico según la ONU.

#### Incompatibilidades:

Por calentamiento intenso produce humo tóxico. Reacciona con oxidantes tales como percloratos, peróxidos, permanganatos, cloratos, nitratos, cloro, bromo y flúor y halógenos, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con ácido nítrico, ácido sulfúrico caliente. En contacto con ácidos o sustancias ácidas y ciertos metales (p.ej. galvanizados, metales ligeros) se forma gas tóxico de arsina.

Se combina al calentarse con la mayoría de los metales formando arseniuros, y con el azufre formando el sulfuro correspondiente. (Casal, 2012)

En ausencia de oxígeno no reacciona con el ácido clorhídrico, pero sí con el nítrico caliente, ya sea concentrado o diluido, además de otros oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ácido perclórico y otros. (Casal, 2012)

#### **1.4.2. Impactos que produce el Arsénico en el Medio Ambiente y la salud de hombre**

Debido a la actividad humana grandes cantidades de Arsénico terminan en el ambiente y en organismos vivos. Es mayormente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc, y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que haya entrado en el ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra. (Pinos, 2013)

Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones de

este peligroso contaminante inorgánico, actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los organismos vivos.

Los efectos negativos en el hombre están dados principalmente por la ingestión e inhalación de este elemento. Este es acumulable en el organismo y si supera ciertos niveles de concentración es peligroso. Puede ocasionar alteraciones en la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos), lesiones dérmicas (neoplasias de piel), vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro"), además de enfermedades respiratorias; neurológicas (neuropatías periféricas), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, hígado, vejiga y de piel). (McCoy, 2010)

Para cualquier fábrica que utilice en su proceso el arsénico, en caso de derrame (Health, 2008) plantea que es necesario tener en cuenta las siguientes medidas:

Evacue al personal. Controle e impida el acceso a la zona.

- Elimine todas las fuentes de ignición.
- Reúna el material pulverizado de la manera más conveniente y segura, o utilice una aspiradora con filtro.
- Ventile el área del derrame después de que se complete la limpieza.
- No permita la eliminación al alcantarillado de los derrames por lavado.

Estas medidas se deben tener en cuenta por lo peligroso que es este metal pesado, no obstante a nivel mundial el uso del arsénico en las industrias no es muy común por su toxicidad, y la mayoría de las fábricas que lo utilizaban transformaron sus procesos por unos más eficientes y menos contaminantes.

### **1.5. Tratamientos para la remoción del arsénico utilizados en el mundo**

Es necesario tener presente que un tratamiento es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de

aprovechamiento y/o valorización; o minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente (Galvis, 2009).

El arsénico es un metal pesado muy tóxico, contamina el agua de tal forma que la inhabilita y es vital no tener contacto con ella, entre las técnicas empleadas para la remoción de esta sustancia se encuentran:

Osmosis inversa: Se entiende por ósmosis, el pasaje del agua a través de una membrana semipermeable, de una solución menos concentrada hacia una de mayor concentración. Esta diferencia de presión se denomina presión osmótica.

La ósmosis inversa se produce cuando se ejerce presión para invertir el flujo osmótico normal. Al aplicar presión, el agua es forzada a pasar a través de la membrana semipermeable desde el lado más concentrado (agua cruda), hacia el lado menos concentrado (agua tratada), quedando retenidos en la membrana, por su tamaño los iones del arsénico.

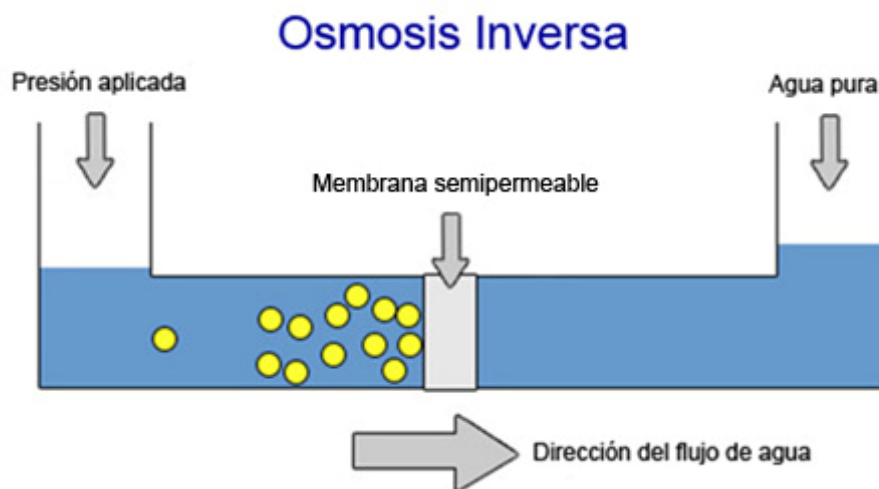


Figura 3 - Osmosis inversa tomado de (Cabezas, 2010)

La eficiencia en la remoción de arsénico de los equipos de ósmosis inversa puede llegar al 98%, siendo su mayor problema el costo que origina la utilización de reactivos y la reposición de la membrana semipermeable (4 o 5 años de vida útil). Para el funcionamiento de la planta de ósmosis se deben tener en cuenta como principales factores: la presión, la temperatura de operación, la calidad del afluente (en cuanto a su contenido de sales y arsénico) y la presencia de

oxidantes (como el cloro) que deterioran la membrana y obligan a un pre-tratamiento. Además debe considerarse el posterior tratamiento del agua que queda como solución concentrada y que tiene altos contenidos de dichas sustancias. (Cabezas, 2010).

Utilizando este procedimiento es posible lograr un alto nivel de remoción, además es un proceso fácilmente automatizado y la recuperación de los metales pesados es posible. Como puntos negativos hay que recordar que requiere de mantenimiento para evitar saturación de la membrana por lo que es importante separar las partículas insolubles o en suspensión y el alto costo que requiere.

Intercambio iónico: Es un proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre una fase líquida y una sólida, donde no hay un cambio permanente en la estructura del sólido. La solución se pasa a través del lecho hasta que se satura y comienza la fuga de contaminantes. En ese momento la resina (fase sólida) se reactiva con una solución de regenerante que lleva los contaminantes retenidos para disposición como efluente líquido.

Las resinas más utilizadas para la remoción del pentóxido de arsénico son los sulfato-selectivos, mientras que los nitrato-selectivos también remueven trióxido de arsénico. En la etapa de diseño se debe considerar: el pH, la capacidad de intercambio, la inyección del regenerante, la presencia de otras sustancias iónicas (sulfatos, cloruros, entre otros), el ensuciamiento de las resinas. (Cabezas, 2010)

En este tratamiento la presencia de calcio, sodio y magnesio que se pueden encontrar en la solución disminuye el rendimiento de este método debido a que puede saturar a la resina, además las resinas no son muy tolerantes a cambios de pH o los materiales orgánicos pueden envenenar a la resina. También la solución contaminada debe ser previamente tratada para eliminar los materiales en suspensión. Es posible la eliminación de metales a muy bajas concentraciones y la recuperación de los metales por electrolisis.

Adsorción: Es un proceso de transferencia de masa, basado en la capacidad de determinadas sustancias en la retención de moléculas sobre su superficie de una manera más o menos reversible. (Echeverría, 2008)

La capacidad de adsorción depende de la superficie específica del material, la naturaleza del enlace entre sustancia adsorbida y adsorbente, y tiempo de contacto entre sustancia y adsorbente. El arsénico puede ser adsorbido en la superficie de varios adsorbentes, como pueden ser:

Alúmina activada, con una composición similar a  $Al_2O_3$ , en el cual el agua a tratar se pasa a través de un lecho fijo que contiene a dicha sustancia. Es muy efectivo para remover pentóxido de arsénico y el pH debe estar cerca de 8.

Para este proceso pueden ser utilizados el hierro y otros óxidos, así como adsorbentes naturales (bentonitas, sílices, etc). En este caso normalmente el costo del adsorbente es muy alto y es necesario eliminar los materiales en suspensión antes que el efluente sea tratado.

Solidificación/estabilización: El propósito de esta técnica es reducir la movilidad de los metales pesados mediante la adición de un agente que solidifica y luego inmoviliza los metales. La solidificación se refiere al proceso que encapsula los materiales de desecho en un sólido monolítico de alta integridad estructural. (Yoyal, 2012)

A su vez este autor considera además, que una de las cualidades para prevenir la contaminación y/o contacto con el arsénico es un correcto almacenamiento para evitar riesgos de exposición a este elemento y que por su alto contenido de agua, los lodos de arsénico se pueden utilizar en la elaboración de tabiques para la cimentación de casas como una alternativa de disposición de estos residuos

También refiere que la estabilización como tecnología se emplea para detoxificar, inmovilizar, insolubilizar o en otras palabras hacer al residuo menos peligroso para el ambiente.

## **1.6. Entornos adecuados para el almacenamiento y manipulación del arsénico**

El almacenamiento es el depósito temporal del residuo o desecho peligroso como en nuestro caso, es un espacio físico definido y por un tiempo determinado con carácter previo a su aprovechamiento o valorización, tratamiento o disposición final.

Para la manipulación y almacenamiento del arsénico se tienen que tener en cuenta las siguientes consideraciones (Galvis, 2009):

- Condiciones de manipulación: Es necesario evitar todo contacto físico con la sustancia, no manipular junto a oxidantes fuertes, ni en contacto con superficies calientes o mientras se trabaja en soldadura.
- Condiciones de almacenamiento: Los locales deben estar a prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos, halógenos, reacciona violentamente pentafluoruro de bromo y trifluoruro de cloro, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, bien cerrado y en lugar bien ventilado, así como establecer un área regulada y marcada

## **1.7. Marco regulatorio para el manejo de los Residuos peligrosos**

Cuba, forma parte de los estados firmantes del Convenio de Basilea, por lo que ha decidido utilizar los mismos criterios de peligrosidad establecidos por esta convención, esto queda expresado en la Resolución 53 /2000, "Regulaciones para el ejercicio de las funciones de Autoridad Nacional y Punto de Contacto del Convenio de Basilea, sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación y otras Disposiciones para la gestión ambientalmente racional de estos desechos".

La máxima dirección del país también presta atención a todo lo referente a la protección y cuidado del medio ambiente, se preocupan por el bienestar y cuidado de los ciudadanos como lo expresa en el Artículo 27 de la Constitución de la República el cual postula que: "El Estado... reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más

racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras... "

Con la Ley No. 81 al proclamarse el 11 de julio de 1997, "Ley del Medio Ambiente", se establece los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país, donde definen en su artículo 9, inciso e), como uno de sus objetivos el de regular el desarrollo de las actividades de evaluación, control y vigilancia sobre el medio ambiente y en virtud de ello establece, en su artículo 153 las obligaciones del control de los desechos peligrosos y otros desechos y faculta al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en coordinación con los órganos y organismos competentes a establecer las normas.

Es importante tener en cuenta la Resolución 136-09, que establece el "Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos" y implanta regulaciones para el control y evaluación de las nuevas inversiones; incluyendo procesos, tecnologías y emisión de residuos, mediante el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental con la Resolución 132-09, Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, que constituye uno de los instrumentos de la gestión y la política ambiental y entre sus objetivos está el de asegurar que los potenciales impactos ambientales sean debidamente previstos en una etapa temprana del diseño y la identificación de las medidas para prevenirlos y mitigarlos.

Todo lo referente al tema de los residuos peligrosos es de vital importancia para el país ya que estos representan inevitablemente un peligro latente para la salud de la población mundial e incluso el deterioro del medio ambiente, y es imprescindible su disposición inmediata en confinatorios.

En los momentos actuales el país está enfrascado en la confección de un proyecto para la creación de un confinatorio con el objetivo de almacenar, manipular los desechos peligros generados por las industria y que se encuentran

ubicados en todo el territorio nacional, estos desechos están compuestos principalmente de metales pesados que son altamente tóxicos, entre ellos se encuentra el arsénico en forma de lodos y aguas con un alto contenido de esta sustancia.

El arsénico es un residuo producto del proceso de obtención del amoníaco en fábricas de fertilizantes con tecnologías obsoletas. El aporte antrópico se produce fundamentalmente en la industria, por ser componente de los efluentes, en la agricultura, como parte de los fertilizantes y asociado a la presencia de yacimientos de Cobre y Oro, como consecuencia de la actividad minera en la purificación de los metales, y otros. (Huber, 1999).

Como resultado del desarrollo industrial en la provincia de Cienfuegos se creó la planta de fertilizantes nitrogenados ubicada en la zona industrial #2 de ese territorio, la misma operó entre los años 1973- 1991 alcanzando una producción aproximada de 200 000 ton/año. Como resultado de esta producción se generó aproximadamente 2279 kg de lodos con alto contenido de arsénico.

La presente investigación centra su estudio en la posibilidad de transformar este residuo de producción y su posterior confinamiento en las instalaciones de la ex CEN en esta provincia, lugar donde se proyecta el Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos.

### **Conclusiones Parciales:**

1. El manejo adecuado de los desechos peligrosos en Cuba constituye una prioridad ineludible, teniendo en cuenta que en el país la generación de desechos peligrosos sobrepasa las 100 000 toneladas anuales, siendo las mayores cantidades las correspondientes a residuos de mezclas de hidrocarburos y aguas, que incluye los aceites usados y los residuos de ácidos y bases empleados en procesos productivos.
2. Existe un limitado conocimiento acerca de los confinamientos controlados de desechos peligrosos ya que estos lugares requieren de una alta tecnología en cuanto a su construcción, tratamientos y mantenimientos, son totalmente seguros pero muy costosos.
3. Existen diversos tipos de tecnologías con el fin de remover metales pesados específicamente arsénico, siendo el método más recomendado por la literatura el de la oxidación con el fin de estabilizar la solución y posteriormente la solidificación del lodo restante.



# Capítulo 2<sup>★</sup>

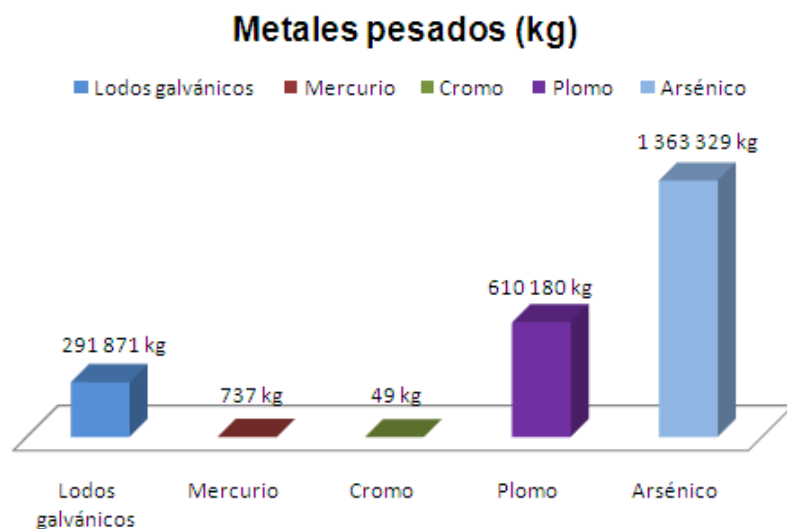
## Capítulo II. Residuos arsenicales. Tratamiento y disposición final

### 2.1. Situación de los residuos peligrosos en Cuba. Residuos arsenicales

La decisión de instalar en las edificaciones de la antigua CEN de Cienfuegos el Confinatorio de Desechos Peligrosos, fue a partir de las actividades industriales y de los servicios que generan este tipo de residuos, lo que implica la necesidad de un estudio físico-químico de cada grupo de sustancias a proteger en esas instalaciones. Además se precisa determinar las condiciones óptimas de transportación, almacenamiento y manipulación de los desechos antes referidos.

Como resultado de esa decisión se le encargó al CITMA, como organismo regulador de la política ambiental cubana, la realización de un Inventario Nacional de Desechos Peligrosos, que abarque todas las instituciones del país.

El inventario realizado por el CITMA (2009), demuestra que existen en el país alrededor de 2 575 166 kg de diferentes tipos residuos con alto contenido de metales pesados que se forman debido a distintos procesos tecnológicos, y que sus condiciones de almacenamiento no son las más adecuadas. (Anexo 1) La gráfica 1 muestra las cantidades de estos desechos existentes en el país.

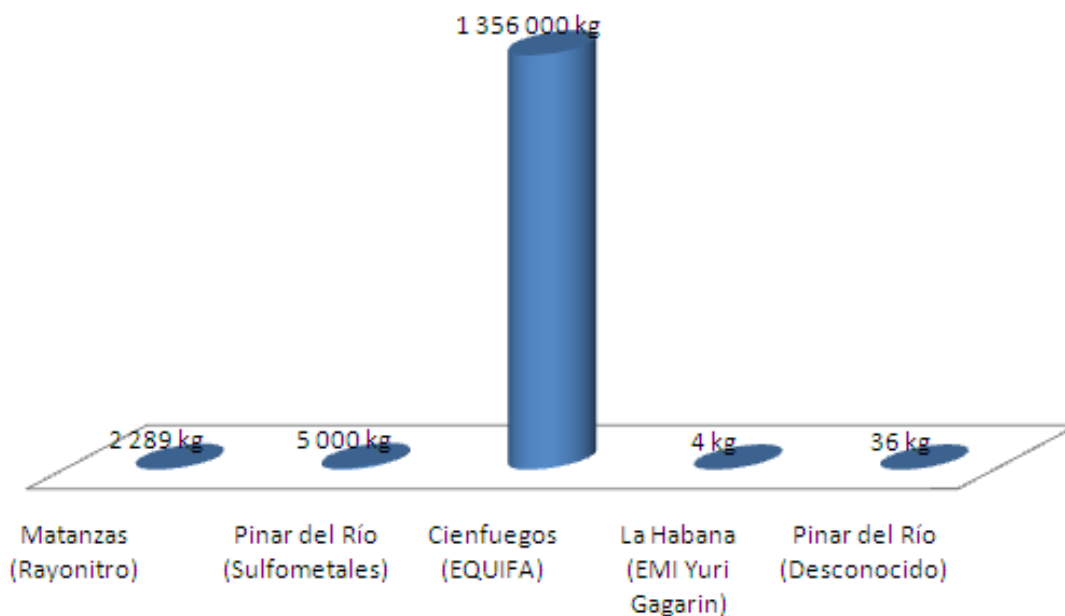


Gráfica 1: Residuos con contenido de metales pesados existentes en Cuba

Como se puede apreciar en la gráfica anterior la mayor cantidad de este tipo de residuos corresponde a los arsénicos, seguido por el plomo y los lodos

galvánicos, los que tienen en su composición presencia de Cianuros, Cromo III y VI, Cobre, Zinc, Cadmio, Níquel, Cobalto, Plomo y Estaño, lo que los hace altamente tóxicos.

Los residuos arsenicales se encuentran distribuidos principalmente en la región occidental del país, como consecuencia de procesos productivos que hoy se encuentran en desuso. Existe un total de 1396 ton de desechos sólidos con contenido de arsénico, y 13 456.69 L de este tipo de residuales líquidos.



Gráfica 2: Cantidades aproximadas de residuales con contenido de arsénico existentes en el país.

Como se puede apreciar, la mayor cantidad de residuos arsenicales se encuentra en EQUIFA Cienfuegos (antes Empresa de Fertilizantes).

Esta empresa tiene como antecedentes un derrame accidental de arsénico en diciembre del 2001, lo que provocó la contaminación de la Bahía, este hecho fue muy alarmante pues fueron envenenados muchos peces e incluso fue prohibida la pesca en toda la zona, debido a esto se justifica la necesidad de elaborar una metodología para transformar y confinar en un lugar seguro los desechos arsenicales.

## **2.2. Conjunto de acciones para confinar los desechos peligrosos**

El confinamiento de desechos peligrosos en Cuba es un tema del que hay pocas referencias. Hasta el momento estos residuos se han almacenado en el mismo lugar donde se producen, sin tener en cuenta que, muchas veces las condiciones no son las más apropiadas, y en ocasiones las propias empresas no tienen dominio de las cantidades de residuos que almacenan. Por esto se hace necesario establecer un sitio con determinadas condiciones de seguridad para preservar los desechos peligrosos de cualquier tipo.

Por lo tanto se realiza un proyecto conjunto entre Universidad de Cienfuegos y EQUIFA con el fin de diseñar el proyecto tecnológico de un Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos en esta provincia

Para obtener un confinamiento seguro se necesita realizar una investigación profunda, precisando las tecnologías existentes en el mundo y las posibles adecuaciones, teniendo en cuenta lo eficiente y factible que sea ese método con el propósito de lograr un proceso en el que los residuos que se confinen sean los que no puedan tener otra alternativa de solución.

Con ese fin se propone en esta investigación un conjunto de acciones para tratar los residuos líquidos arsenicales y confinar el producto final de ese tratamiento.

Acciones a realizar:

1. Revisión bibliográfica en literatura especializada en el tema. (Inventario, artículos en revistas científicas de actualidad y otros).
2. Clasificación de las sustancias según su grado de toxicidad.
3. Localización actual del desecho, cantidades almacenadas, generación del producto, formas de recolección.
4. Determinación de las propiedades físico-químicas de los desechos.
5. Establecimiento de las condiciones de transportación, almacenamiento y manipulación del desecho.
6. Estudio y caracterización de las tecnologías de tratamiento.
7. Elaboración del diseño tecnológico.

Este conjunto de acciones permite realizar un estudio escalonado del desecho que se pretende tratar.

La revisión de la literatura existente permitió caracterizar la empresa de fertilizantes de Cienfuegos, así como su proceso productivo.

### **2.3 Caracterización de la antigua Empresa de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos**

Para el desarrollo de este epígrafe, fue de gran importancia, además, el uso de las entrevistas realizadas a tres trabajadores jubilados de la empresa de Fertilizantes, vinculados directamente a la planta de producción de amoníaco. (Anexo 2)

Como parte del desarrollo del país en la provincia fueron construidas grandes industrias, entre ellas la Antigua Empresa de Fertilizantes Nitrogenados de la provincia de Cienfuegos se encuentra localizada en la Zona Industrial No. II, en las Coordenadas Cartográficas (X: 552340, Y: 261550), es preciso destacar que se halla alejada de los núcleo poblacionales y la Bahía es el principal objeto de posible contaminación. Esta empresa entra en funcionamiento en el año 1973 y en 1974 obtuvo su primera producción donde alcanzó alrededor de 106 mil toneladas de nitrato. Esta fábrica contaba con cuatro planta principales:

Planta de Amoniaco, diseñada para producir unas 700 t/día donde la materia prima utilizada era la nafta y los productos obtenidos de este proceso eran el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). El dióxido de carbono se produce como consecuencia de una conversión estequiométrica. Se puede recuperar para utilizarlo posteriormente como materia prima en una planta de producción de urea, para la producción de fertilizantes

Planta de Ácido Nítrico, como materia prima entraba amoniaco y aire, esta podía producir hasta 675 t/día y como producto obtenían ácido nítrico al 56 %.

La Planta de Nitrato de Amonio, como materia prima se utilizaba ácido nítrico y amoniaco. Esta planta estaba diseñada para producir 800 t/día pero llegó a superar esta producción con alrededor de 1120 t/día.

Planta de Urea, esta era muy inestable en cuanto a su funcionamiento, la materia prima que utilizaba era el CO<sub>2</sub> comprimido que era enviado de la planta de amoniaco y estaba diseñada para producir unas 550 t/día.

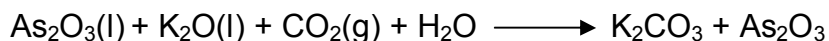
Existían otras plantas y una de ellas era la llamada interconexiones, esta se ocupaba del almacenamiento de todas las materia primas, los tratamiento de residuales, trataban el agua de servicios, servicios de aire de instrumentación y proceso.

Contaban con un Área de Ensacado, en este lugar se guardaban en sacos los productos finales, obtenidos de la planta de Urea y Nitrato de Amonio, por esta razón en 1976 se monta dentro de la Empresa una Fábrica de Sacos de polietileno de baja densidad y esta planta producía 75000 sacos/días, la planta se montó para facilitar el envase de el producto obtenido de la fábrica con el fin de ahorrar en cuanto a compra y traslado

### **2.3.1 El proceso de la Planta de Amoniaco. Usos del arsénico durante el proceso**

La materia prima que entra en la planta es nafta que es enviada a unas torres de desulfuración, con catalizadores y sustancias adsorbentes para eliminar el azufre que contiene. Luego va hacia el reformador primario y más tarde al secundario que hace función de caldera recuperadora, pasando posteriormente por el convertidor catalítico.

Esta planta opera con una solución de Arsenito de Potasio que es utilizado en las torres de absorción donde la solución es introducida por el tope de la torre y en el proceso de descenso se pone en contacto con el gas del proceso que contiene CO<sub>2</sub> al 21%, la absorción se realiza a 25 atm de presión y ocurre la reacción de:



El dióxido de carbono se produce como consecuencia de una conversión estequiométrica y se puede recuperar posteriormente para utilizarlo como materia prima en una planta de producción de Urea.

En el proceso de regeneración la solución pasa desde la absorbidora y se introduce a la regeneradora de la siguiente forma:

La solución (lejía) entra a la columna absorbidora, acumulándose en el fondo , al mismo tiempo a flujo continuo está saliendo permanentemente la solución que va al regenerador y de 25 atm pasa por una válvula entre 1.5 y 1.8 atm de presión. El paso de la solución por la válvula provoca un flasheo, un desprendimiento inicial de CO<sub>2</sub>, esto indica que el sistema busca un equilibrio por lo que la solución no puede retener toda la carga de gas que le introdujeron en la columna absorbidora entonces parte del CO<sub>2</sub> se desprende por descompresión. En la columna Regeneradora entra una mezcla de vapor de agua, CO<sub>2</sub> y líquido con contenido de arsénico, ese líquido llega saturado a una bandeja o plato y es enviado a un rehervidor. En este proceso la solución pierde agua y aumenta su temperatura.

El vapor retorna a la columna regeneradora, lo mismo pasa con el líquido que en este caso es enviado por la parte inferior de la torre donde se encuentra una bomba que toma el líquido y le sube la presión hasta 34 atm, lo enfría utilizando agua de mar y se envía nuevamente al tope de la absorbidora.

Por el tope de la regeneradora sale CO<sub>2</sub> y vapor de agua que pasa a un condensador parcial y un separador de líquido, donde el CO<sub>2</sub> es enviado como materia prima a la planta de Urea mientras que el líquido se repone como alimentación a los rehervidores para mantener un balance y evitar su cristalización.



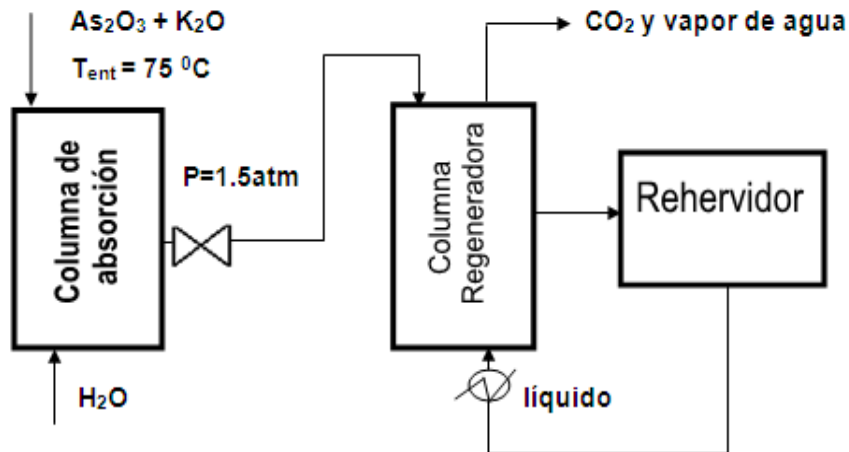


Diagrama 1: El ciclo se repite continuamente en la planta de amoniaco donde es utilizado el arsénico.

Este proceso genera un desecho peligroso dando lugar a que en la actualidad existan depósitos con gran cantidad de sustancia tóxica que puede generar cargas contaminantes al subsuelo y que pueden afectar los acuíferos; en este caso la Bahía.

### 2.3.2 Cantidades de Arsénico existente en la Empresa

Para el desarrollo de este epígrafe, fue de gran importancia el uso de las entrevistas realizadas a trabajadores de la Empresa Química de Cienfuegos (EQUIFA), que tienen relación con los desechos arsenicales almacenados en la empresa. (Anexo 3)

La Empresa de Fertilizantes de Cienfuegos dejó de producir en 1991 y como resultado del proceso de fabricación de fertilizantes existen lodos confinados y una solución arsenical, así como equipos contaminados, gran cantidad del Arsénico que no fue utilizado en la producción y se encontraban en los almacenes.

Con el fin de mantener en condiciones seguras estos desechos se destina en las áreas de la empresa una zona para confinar los lodos sedimentados de las soluciones arsenicales, al que se le denomina cementerio, el cual funciona como depósito semi-soterrado, está dividido en 15 nichos donde se mantiene confinado de forma segura.

El Cementerio se encuentra en adecuadas condiciones, todos sus Nichos apropiadamente sellados. Como resultado de una medida impuesta por la Unidad de Supervisión del CITMA en una inspección ambiental a la entidad, en el año 2004, se proyectó y ejecutó la actividad de impermeabilización, donde quedó identificado el contenido de cada uno de los nichos.

Nicho No.	Análisis As (g/L)	Volumen de Lodo (g/L)	En forma de As (kg)	En forma de As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Litros)	En forma de As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Litros)
1	0.63177	15.714	9.92	-	15.121
2	0.42137	15.170	6.30	-	9.561
3	0.1179	15.492	7210.497	9517.53	2.80
4	0.3458	13.00	4.487	-	6.866
5	0.09130	16.14	1.45	-	2.2223
6	0.37611	11.70	1205.49	1659.413	6.747
7	0.16422	12.162	1.95	-	2.990
8	3.48581	15.276	53.25	-	81.65
9	0.51135	15.384	7.866	-	5.254
10	0.31661	10.836	3.426	-	8.389
11	0.330	16.578	5.471	-	8.389
12	0.331	14.955	5.472	-	8.389
13	0.329	14.952	5.471	-	8.389
14	0.330	14.952	5.471	-	8.389
15	3.329	14.955	5.474	-	8.391
TOTAL		217.266	8531.995	11176.943	183.39

**Tabla 1.** Distribución de los lodos arsenicales en el confinamiento designado "Cementerio".

Hacia el Tanque 22T09A con una capacidad de almacenamiento de 3190 m<sup>3</sup>, fue enviada toda la solución Arsenical permisible a bombear, que se localizaba en diferentes depósitos. En la siguiente tabla se muestran el contenido de 6

depósitos donde se encontraba un volumen imposible de bombear, uno está vacío pero se encuentra contaminado con el arsénico.

Depósito	Volumen de Almacenado (m <sup>3</sup> )	Arsénico (g/l)	Estado Técnico	Observaciones
33T03A	10	2.028 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Corroído	
33T01A	28	5.788 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Buen estado	
33T02A	0		Buen estado	
33Q04A	12	0.0944 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Regular	Tanque abierto
33Q04B	12	0.0268 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Regular	Tanque abierto
33Q02A	25	2.5320 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Regular	Tanque destapado
11T07A	40	Ext. 0.15 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Int. 0.40 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Buen estado	Tanque destapado
22T09A	1969.36	0.0944 (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 0.710 (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Buen estado	
TOTAL	2096.36			

**Tabla 2.** Cantidades almacenadas de solución arsenical, con la concentración de As.

En el área de producción donde se manejaba el Arsénico existen Equipos, Tuberías y Accesorios que se encuentran contaminados, además de los depósitos que aparecen en la tabla anterior.

La determinación de Arsénico en las distintas disoluciones se realizó utilizando el método de Espectroscopia por Absorción Atómica acoplado al Horno de Grafito.

En la empresa existe según el inventario de Desechos Peligrosos, 1.65 toneladas de As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1.18 toneladas de As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que se encuentran confinados en el tanque donde fue enviado todo el volumen de trióxido y pentóxido de arsénico mencionado anteriormente. El resto se encuentra dispuesto en el Cementerio Arsenical sin problemas, con todos sus nichos debidamente sellados e impermeabilizados. (Romero, 2008)

Al inicio de esta investigación no se conocía con exactitud las propiedades físicas y concentración total de arsénico en la disolución almacenada en el tanque. Para

tener conocimiento de estos datos, se solicitó la colaboración al Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), este laboratorio es el encargado de realizar las mediciones, cuenta con un reconocimiento internacional avalado por la acreditación de sus ensayos y con un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la Norma NC-ISO/IEC 17025:2006.

Esta norma ha sido elaborada por el Comité de Normalización NC/CTN 56 Gestión de la Calidad, Aseguramiento de la Calidad y Evaluación de la Conformidad, integrado por representantes de distintas entidades que hacen uso de su aplicación.

Es una adopción idéntica de la traducción certificada por la ISO de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 que contiene todos los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, si desean demostrar que poseen un sistema de gestión técnicamente competente y son capaces de generar resultados válidos.

Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

Es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración.

Estas razones justifican la selección del laboratorio para realizar el análisis obtener el resultado de la muestra presentada.

#### **2.4 Materiales y Métodos Utilizados para Realizar la Caracterización de la Solución Arsenical que Contiene el Tanque 22T09A.**

La muestra tomada fue llevada al laboratorio del CEAC mencionado anteriormente, pues este centro cumple con las condiciones y equipamiento establecidos para el análisis. Los ensayos fueron realizados exactamente en el Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) de este centro perteneciente al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, en el marco del proyecto de

Manejo Integrado de Cuencas y Áreas Costeras utilizando técnicas Isotópicas y Nucleares (MICATIN).

Las pruebas fueron efectuadas por el Ingeniero Químico Yoelvis Bolaños Alvarez que analizó el contenido de arsénico, pH y densidad de la solución. El LEA cuenta con 29 ensayos acreditados por la norma ISO IEC 17025:2006 ya mencionado anteriormente.

Después de analizada la muestra se plasma el resultado en un informe. En estos casos los resultados de cada ensayo, calibración o serie de ensayos o calibraciones efectuados por el laboratorio, deben ser informados en forma exacta, clara, no ambigua y objetiva, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo o de calibración.

A continuación se muestra el informe con las técnicas utilizadas para realizar la caracterización requerida explicando detalladamente los equipos, materiales y métodos empleados.

#### **2.4.1 Informe con la metodología para obtener los resultados de la muestra.**

##### Ensayo de pH

El pH fue determinado en una sonda multiparamétrica Hanna Instruments, modelo pH-211, acoplada con sensor de temperatura, calibración en tres puntos (4,00; 6,86 y 9,18).

##### Determinación de la densidad de la muestra

La densidad se calcula por la relación masa de la solución en 100 ml de muestra. Determinando el volumen por una probeta y la masa en una balanza Intell-Lab, modelo PA200 de capacidad total de 200 g y una resolución de 0,0001g.

##### Análisis de Arsénico (As)

##### Equipamiento utilizado.

Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Modelo GBC-Avanta, Australia.

Horno de Grafito (GF3000) con automuestreador (PAL3000)

Fundamento del método:

El arsénico (As) es determinado por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) utilizando un Horno de Grafito. El horno de grafito es una cámara de descomposición electro-térmica que utiliza un tubo de grafito como medio de calentamiento y a través de una diferencia de potencial se generan altas temperaturas para obtener el átomo en estado libre.

Una de las ventajas de esta técnica es que presenta mayor eficiencia de atomización si lo comparamos con el método de aspiración directa en llama, detectando concentraciones tan bajas del analito (partes por billón) y con el gasto de pequeñas cantidades de muestras. Para evitar las pérdidas del analito durante el ensayo se utiliza un modificador de matriz (50 mg/L de Paladio (Pd)).

Una alícuota de muestra (20  $\mu$ l) y modificador de matriz (5  $\mu$ l) es ubicada dentro del tubo de grafito con la ayuda del automuestreador o de forma manual con una micropipeta, donde ocurren diferentes procesos como la evaporación de la matriz líquida de la muestra, posteriormente es incinerada y atomizada. En las dos primeras etapas le hace pasar por el interior del tubo un gas de purga (argón o nitrógeno) que se encarga de eliminar los residuos de dichos procesos hasta llegar a la última etapa (atomización) donde se detiene la corriente del gas y es este el momento en que ocurre la lectura de la intensidad de luz que llega al monocromador, obteniendo así la señal del analito en la muestra la que es registrada y comparada con las obtenidas de los estándares del analito.

Se utiliza una lámpara de cátodo hueco de As con una longitud de onda para el ensayo de 193,7 nm.

#### Control de la calidad de los resultados

Para el control de la calidad de los resultados se realizó la medición de un material de referencia certificado de una solución sintética de concentración de As de  $42,2 \pm 3,84$   $\mu$ g/L. Se realizaron 3 réplicas de medición de la muestra y se obtuvo un coeficiente de variación (CV) de 4,45 %.

#### 2.4.2 Resultados obtenidos del análisis de la muestra tomada del tanque 22T09A.

En los análisis de la solución problema, respecto a la caracterización de la solución arsenical almacenada, se constató que uno de los depósitos no había sido analizado, por lo que se realizó una serie de ensayos de laboratorios para caracterizar dicha solución, procedimiento vital para poder realizar una propuesta de tratamiento y lograr decidir el destino final del As.

Entre las variables consideradas se encuentran la concentración total de arsénico (As), pH y densidad de la solución.

El punto de muestreo fue el tanque 22T09A, la muestra fue tomada por un trabajador de la empresa del departamento de mantenimiento y con un correcto uso de equipos de protección personal.

Cantidad de muestra tomada: Recipiente de cristal de aproximadamente un litro.

##### Resultado de las determinaciones

Ensayo	Valor	U (incertidumbre del método)	Unidad
As	1,90	± 0,31	g/L
pH	9,72	± 0,09	pH
Densidad	1,03327	-	g/cm <sup>3</sup>

**Tabla 3** Muestra los valores alcanzados de pH, densidad de la solución y contenido de arsénico. Incertidumbre de los resultados obtenidos para la caracterización de la solución.

Los valores de incertidumbre de cada método representados en la tabla 3, se corresponden con un parámetro asociado al resultado de una medida que considera todas las fuentes posibles de error que intervienen en el resultado final. Este es una estimación unida al efecto de un ensayo que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se afirma que está el valor verdadero, en fin refleja duda acerca de la veracidad del resultado obtenido una vez que se

han evaluado todas las posibles fuentes de error y que se han aplicado las correcciones oportunas.

En este caso la incertidumbre de los resultados es del tipo expandida con una  $K=2,1$  para el caso del pH y 2 para los ensayos de As. El intervalo de confianza escogido fue del 95 %.

Teniendo en cuenta las características de la solución y el estudio realizado con relación a las tecnologías aplicadas en el mundo para remover arsénico o metales pesados en general es de utilidad proponer un método para el problema existente en la empresa.

## **2.5 Descripción de la propuesta de Tecnología:**

La mayoría de los procesos de remoción de As se basan en una secuencia simple de tratamientos fisicoquímicos que se pueden aplicar solos o combinados, simultáneamente o en una secuencia: oxidación/reducción, coagulación/filtración, precipitación, adsorción, separación sólido/líquido y tecnología de membranas, todos estos mencionados anteriormente.

Existe un gran número de tratamientos a los que se pueden someter los residuos tóxicos y peligrosos, cuya finalidad se dirige básicamente a la recuperación de recursos (materiales y energéticos). La detoxificación, y la reducción de volumen son el principal objetivo que ocupa el presente trabajo, logrando proponer una solución y destino final al problema.

Estudios anteriores han demostrado que el tema de referencia se ha seguido abordando por la Empresa conjuntamente con el CITMA del territorio, pues el objetivo final, que es eliminar el foco almacenado, aún no ha sido logrado. A partir de un análisis más profundo López (2009) plantea un plan de acciones para la gestión de los residuos peligrosos, por medio de entrevistas realizadas se pudo constatar que sólo algunas acciones reciben el seguimiento, y son aquellas que tienen que ver con el control de los focos contaminantes. (Anexo 3)

Además la propia autora propone una tecnología para la eliminación de los residuales líquidos arsenicales, la cual consiste en la oxidación de sustancias inorgánicas en soluciones acuosas (no sólo Arsénico). El método propuesto de

tratamiento de residuales está patentado por La Organización de Ciencia y Tecnología Nuclear Australiana/ Centro de investigación colaborativa (ANSTO/CRC por sus siglas en inglés).

. La propuesta consiste exactamente en:

1. Adición de sulfito de sodio y aire a la solución inorgánica (en nuestro caso Arsenical).
2. Aplicación de luz ultravioleta a la solución en un reactor de aproximadamente 2 m de largo, de forma tal que se produzca la oxidación y se obtenga como producto final el lodo y la solución tratada, los cuales tienen uso en diferentes actividades. En el caso de la parte líquida puede ser aplicada a cultivos pues el método ha sido utilizado en países con escasez de agua, como Bangla Desh, y el lodo se puede solidificar para ser enviado al confinamiento de desechos peligrosos que se va a encontrar localizado en nuestra provincia y en estos momentos se proyecta.
3. Para la solidificación, luego de estabilizar el residuo es empleado frecuentemente el cemento como reactivo principal, siendo el cemento portland el más utilizado en el tratamiento de residuos donde se mezcla el cemento con agua reutilizada de otros procesos de deshidratación o bien proveniente de lixiviados.

Este tipo de estabilización se recomienda para residuos especiales como arsénico (metales pesados), es un proceso que utiliza aditivos (reactivos) para reducir la peligrosidad, convirtiendo el residuo y sus constituyentes peligrosos en un bloque con el fin de reducir la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente y reducir el nivel de toxicidad. El elevado pH del cemento permite retener los metales bajo la forma de hidróxidos insolubles o carbonatos dentro de la misma estructura endurecida.

Una vez realizado este proceso sedimenta un lodo, que es necesario separar del agua. Con el fin de lograr reducir la peligrosidad de este residuo, en esta investigación se propone la solidificación del residuo lodoso y el posterior

confinamiento del sólido en óptimas condiciones en el Confinatorio Nacional de Desechos Peligrosos.

El volumen tratado sería de 10 litros/min ( $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ), es decir que las instalaciones estarían trabajando alrededor de 4 meses.

Seguidamente se muestra un diagrama con el proceso propuesto.

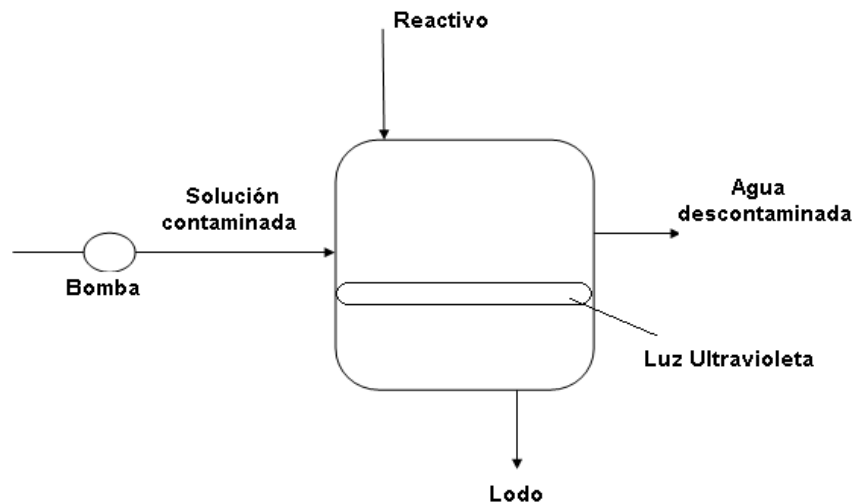


Figura 4: Tratamiento para la solución arsenical.

El uso de la solidificación ofrece varias ventajas, tales como mejorar las características de manejo, produciendo un material sólido lo suficientemente fuerte para su disposición. Solidificando la estructura del residuo (lodo), permite reducir los lixiviados de contaminantes tóxicos, y las concentraciones son menores a las estipuladas por la normatividad, entonces los residuos pueden considerarse no peligrosos. En este caso se recomienda el cemento Portland que forma una masa pétreo resistente y duradera por su contenido de calcio, hierro, aluminio y silicio que al final de su proceso se convierten en clinker, esto lo hace altamente resistente.

Una desventaja de este tipo de solidificación es que se incrementa el peso y volumen del residuo a disponer incrementando los costos de transportación y disposición.

#### Factibilidad del método propuesto

Estudios posteriores pudieran valorar la posibilidad de utilizar el método propuesto en estos residuales con contenido de metales pesados, los que si

continuarán produciéndose en el país, con el fin remover los contaminantes logrando su estabilización. El método propuesto se puede utilizar por Cuba y en otros países del área que tengan una situación similar con la contaminación Arsenical.

### **2.5.1. Confinamiento del sólido resultante con contenido de arsénico**

El producto que se obtiene de la solidificación presenta alto contenido de arsénico, aunque estabilizado, aún es necesario mantener técnicas de seguridad para evitar accidentes o envenenamientos por incorrecta manipulación.

Por ser altamente tóxico es preciso almacenarlo en una habitación alejada de despensas, comedores, cafeterías o cualquier otro local que se encargue de almacenar o distribuir alimentos.

Por sus incompatibilidades antes expuestas es recomendable que en la habitación no se encuentren ácidos ni sustancias reductoras. Las descargas electrostáticas pueden causar incendios. Por lo que se recomienda que el lugar de almacenamiento no esté expuesto a este tipo de riesgos.

Las partículas de polvo de arsénico pueden inflamarse a temperaturas elevadas, por lo que debe mantenerse una temperatura estable dentro de la habitación, y se recomienda ubicar materiales de protección contra incendios en la entrada de la habitación.

En caso de incendio se recomienda el uso de extintores de dióxido de carbono o espuma y rociadores de agua fría para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio.

Se recomienda además almacenarlo en un nivel elevado (a partir de la segunda planta) a una altura de 50 cm del suelo, para evitar contacto con el agua. En recipientes bien cerrados, y en bloques (envases secundarios) en un área fresca, bien ventilada. Los recipientes para almacenarlos deben ser plásticos rígido metálicos o bien en sacos de polietileno herméticos y utilizar en su estiraje herramientas antichispas.

El personal que lo manipule (carga, descarga, envase) debe utilizar protección completa: trajes cerrados con suministro de aire independiente, máscara con protección de los ojos y guantes y calzado resistentes y herméticos. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.

El producto debe estar correctamente etiquetado, conteniendo nombre del producto, identificación de transporte, y color de almacenaje, junto con indicaciones de primeros auxilios y rombos de peligrosidad, pudiéndose almacenar junto a los reactivos caducos que también contienen arsénico, en los locales del reactor de la CEN. (Anexo 4)

En la zona señalada en la figura 4 es donde se proyecta confinar los bloques de arsénico, esta es una vista aérea del nivel 450 del reactor correspondiente con la segunda planta.

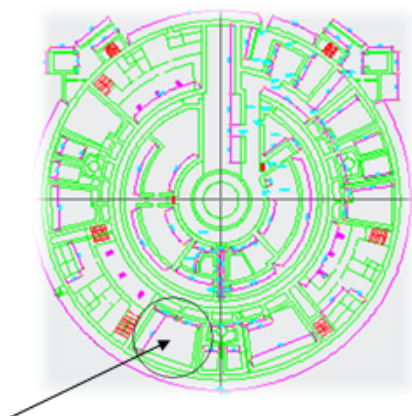


Figura 5: Vista aérea del nivel 450 (Segunda planta) del reactor.

## **2.6. Datos a tener en cuenta para la evaluación Económica.**

La empresa en estos momentos no cuenta con el presupuesto necesario para tratar estos residuales. La solución definitiva, está enfocada a nivel de País, debido al monto que requiere esta inversión y atendiendo a la necesidad que existe en otras entidades del Ministerio de Industrias y de otros organismos, de dar solución a los Residuales almacenados y los que se están generando en procesos productivos en explotación. Se debe definir quién asumirá el financiamiento para el tratamiento que se le dará a todos los residuales arsenicales existentes en el país.

Pasos a tener en cuenta para establecer el costo de la tecnología:

1. Determinar el estado del contaminante, costo de análisis. (Se solicita el servicio a una unidad para realizar los análisis de laboratorio pertinentes). En este trabajo se efectuó una breve caracterización de la solución, obteniendo como resultados la concentración de arsénico, pH y densidad. El CEAC es la única entidad de la provincia que cuenta con el equipamiento adecuado para realizar estos ensayos.
2. Costo de los equipos para el tratamiento del residual. (Bomba, tuberías, reactor y cemento para la solidificación)
3. Condiciones de manejo. (Costo del transporte hacia el lugar de confinamiento, envase, equipos de protección para los trabajadores y salarios del personal capacitado)
4. Otros gastos de explotación (energía eléctrica y reactivo)
5. Costos económicos, socioeconómicos y medio ambientales que provocaría la solución en caso de derrame accidental.

Pasos a tener en cuenta para determinar las formas de recuperación de la inversión:

1. Valorar:
  - la posibilidad de utilizar esta tecnología para el tratamiento de otros desechos
  - la posibilidad de utilizar los residuos de explotación de la tecnología en otros procesos productivos.
2. Realizar análisis de lixiviación para el sólido obtenido.
3. Determinar el porcentaje de lixiviados a partir de los análisis realizados.
4. Definir posibles usos en función de los resultados de los análisis realizados.

## Conclusiones parciales

1. El Inventario Nacional de Desechos Peligrosos Caducados y Ociosos realizado por el CITMA, permite conocer que existen alrededor de 2 575 166 kg de diferentes tipos de metales pesados, formados por distintos procesos tecnológico, cifras que apoya la necesidad de confinar en lugares seguros estos residuos tóxicos para mantenerlos controlados.
2. La antigua Empresa de Fertilizantes Nitrogenados hoy (EQUIFA), posee 1356000 kg arsénico en forma sólida y como lodo, además de 13 456.69 litros de trióxido y pentóxido de este metal pesado.
3. La solución arsenical que contiene el tanque 22T09A se clasifica como tóxica debido a los análisis realizados en el laboratorio del CITMA de la provincia, arrojando una concentración de 1.90 g/L de arsénico y el intervalo de confianza escogido fue del 95%.
4. El método propuesto consiste en una combinación de métodos: Tratamiento de residuales patentado por la ANSTO/CRC que utiliza sulfito de sodio y aire en un reactor con luz ultravioleta para que ocurra una mejor oxidación, luego de estabilizar la solución se solidifica con el objetivo de disponerlo en el confinamiento.
5. El desecho a confinar debe estar en un lugar seco y fresco, separado de reactivos oxidantes fuertes. Los recipientes deben ser plásticos rígido, metálicos o bien en sacos de polietileno herméticos. Se puede almacenar junto a los reactivos caducos que contienen arsénico. Para la manipulación deben existir trajes completos de protección.



*Conclusiones*★

## Conclusiones Generales

1. La antigua Empresa de Fertilizantes Nitrogenados hoy (EQUIFA), posee 1356 000 kg arsénico en forma sólida y como lodo, además de 13 456.69 litros de trióxido y pentóxido de este metal pesado.
2. La solución arsenical que contiene el tanque 22T09A se clasifica como tóxica debido a los análisis realizados en el laboratorio del CITMA de la provincia, arrojando una concentración de 1.90 g/L de arsénico, su densidad es de 1,03327, presenta un pH de 9,72 y el intervalo de confianza escogido fue del 95 %.
3. Existen en el mundo diversos tipos de tecnologías con el fin de remover metales pesados específicamente arsénico, el método más utilizado es el de la oxidación con el fin de estabilizar la solución y posteriormente la solidificación del lodo restante.
4. El método propuesto consiste en una combinación de los métodos:  
Tratamiento de residuales patentado por la ANSTO/CRC que utiliza sulfito de sodio y aire en un reactor con luz ultravioleta para que ocurra una mejor oxidación. Luego de estabilizar la solución posteriormente solidificamos con el objetivo de disponer en confinatorios. El mismo ha sido utilizado en muchos países obteniendo buenos resultados, respaldando la encapsulación en cuanto a su eficiencia y factibilidad
5. El desecho a confinar debe estar en un lugar seco y fresco, separado de reactivos oxidantes fuertes. Los recipientes deben ser plásticos rígido, metálicos o bien en sacos de polietileno herméticos. Se puede almacenar junto a los reactivos caducos que contienen arsénico. Para la manipulación deben existir trajes completos de protección.



# *Recomendaciones*★

## **Recomendaciones**

1. Realizar el análisis económico ambiental del costo de inversión y explotación de la tecnología.
2. Analizar la posibilidad del uso de esta tecnología en el procesamiento de otros residuos de producción con contenido de metales pesados.
3. Es recomendable someter este sólido a estudios de lixiviación, recirculando agua sobre el sólido, y luego, mediante técnicas experimentales de análisis químico determinar la cantidad de arsénico que esta agua arrastra, para determinar si está entre las normas permitidas.
4. Estudiar la factibilidad de aplicar esta tecnología en otros entornos con una situación similar a la expuesta en esta investigación.



# *Bibliografía*★

## **Bibliografía**

- Alvarez, M. (2012). El Arsénico en el medio ambiente. *Lenntech BV*. Retrieved from : <http://www.lenntech.es/arsenico-en-el-medioambiente.htm#ixzz2RCkMkkrx>
- Becerril A, J (2004). Manejo de residuos y emisiones peligrosas en la industria. Ponencia presentada en las XIV Jornadas Latinoamericanas de Seguridad e Higiene en el Trabajo JOLASEHT.
- Bugin, A., Costa, J. F. (2008). *Recuperacao de áreas con mineracao de carvao*. Brasil Mineral. 71-54-60.
- Cabezas, E. (2010). Remoción del Arsénico mediante Coagulación, Filtración y Sedimentación Comparación con tecnologías disponibles y análisis de una planta tipo. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe. Retrieved from <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- Convenio, S. d. (2011). *www.convenio de Basilea.com*. Recuperado el 3 de 4 de 2014, de [www.convenio de Basilea.com](http://www.convenio de Basilea.com).
- Duarte, Y; Wilches, C (2006). Formulación de estrategias de PML para el Subsector Pinturas MIPYME manufacturero en Bogotí DC. Bogotá DC: Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA.
- ECURED. (2012). *Problemas Ambientales en Cuba*. Recuperado el 04 de 04 de 2014, de ECURED: [http://www.ecured.cu/index.php/Problemas\\_ambientales\\_en\\_Cuba](http://www.ecured.cu/index.php/Problemas_ambientales_en_Cuba)
- Fernández, A. (2010). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* (p. 14). España: Universidad de Sevilla.
- Galvis, C. J. (2009). *Manual para el manejo de los residuos químicos y peligrosos*. Universidad Pedagógica Nacional. [http://www.suratep.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1165&Itemid=377EL](http://www.suratep.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1165&Itemid=377EL)
- Linares, C. A. (2013). *Producciones Más Limpias*. Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río.

- López, D (2009). *Desechos peligrosos en Cienfuegos. Caso de estudio Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados*. Universidad de Cienfuegos.
- Mandujano, L. (2010). Tratamiento de residuos de arsénico provenientes del tratamiento del agua primera parte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Martínez, A. (2009, abril). Biosorción de arsénico en materiales derivados de maracuyá. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Mejía, B (2006, Diciembre). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.
- Molina, A (2012). Propiedades químicas del Arsénico - Efectos del Arsénico sobre la salud - Efectos ambientales del Arsénico. *Lenntech B.V.* Retrieved from <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm#ixzz2RCjJ3XKm>
- Montaño, P. (2009). Programa de manejo integral de residuos sólidos en el Parque Nacional Natural Gorgona, Cauca, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11059/1291>
- Morales, R (2006). Diseño de un sistema de Gestión de residuos peligrosos para el sector industrias forestales en la jurisdicción. Bogotá DC: Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA.
- Pérez, D. (2008). Toxicidad del arsénico. *Miliarium.com*.
- Pinos, J. C. (2013). *www.ojocientifico.com*. Recuperado el 8 de 4 de 2014, de [www.ojocientifico.com](http://www.ojocientifico.com/4559/caracteristicas-del-arsenico): <http://www.ojocientifico.com/4559/caracteristicas-del-arsenico>
- Rossell, S. A. (2011). Manejo de desechos peligrosos en cuba. Situación actual y perspectivas. . *Medio Ambiente y Desarrollo* , 9-12.
- Saes, D. (2014 de 2 de 2014). Caracterización de la empresa de Fertilizantes de Cienfuegos. (E. M. Avilleira, Entrevistador)
- Soria, F (2011, June). *Estudio del potencial de Sapogeninas para la remoción de arsénico en modelos de agua*. Victoria de Durango.

Veitia, R. (4 de 3 de 2014). Papel del Arsénico en la fábrica. (E. M. Avilleira, Entrevistador)

Yagnentkovsky, N. (2011). *Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de La Plata.



Anexo 1: Tabla que muestra el Inventario Nacional de Desechos Peligrosos Caducados y Ociosos realizada por el CITMA en el año 2009

Provincia	Entidad	Producto	Cantidad		Tipo de envase	Estado	Condición de almacenamiento
			Kg	litros			
La Habana	EMI Yuri Gagarin	Lodos Galvánicos	5 000		Desconocido	Bien	Bien
La Habana	EMI Transporte	Lodos Galvánicos	1 000		Metálico	Bien	Bien
Camagüey	Desconocido	Lodos Galvánicos	226 000		Desconocido	Bien	Bien
La Habana	EMI Granma	Lodos Galvánicos	271		Desconocido	Bien	Bien
Villa Clara	EMI Ernesto Che Guevara	Lodos Galvánicos	5 100		Desconocido	Bien	Bien
La Habana	EMI Emilio Bárcenas	Lodos Galvánicos	5 600		Metálico	Regular	Bien
Villa Clara	IMPUD	Lodos Galvánicos	3 000		Desconocido	Desconocido	Bien
Ciego de Ávila	Laboratorios	Cromo	5		Plástico	Bien	Bien
Matanzas	Desconocido	Cromo	44	9229	Metálico	Bien	Bien
La Habana	Desconocido	Mercurio	4		Plástico	Bien	Bien
Desconocido	MININT	Mercurio	23		Vidrio	Bien	Mal
La Habana	ACRILEST	Mercurio	710		Metálico	Bien	Bien
Villa Clara	Desconocido	Plomo	480		Plástico	Bien	Bien
Guantánamo	Desconocido	Plomo	720		Plástico	Bien	Bien
Guantánamo	Desconocido	Plomo		1498	Plástico	Bien	Bien
Guantánamo	Desconocido	Plomo	1 080		Plástico	Bien	Bien
La Habana	Desconocido	Pasta de Plomo	854 000		Plástico	Bien	Bien
Granma	Desconocido	Plomo	52 800		Plástico	Bien	Bien
Granma	Desconocido	Plomo	10 000		Metálico	Bien	Bien
La Habana	Desconocido	Plomo	100		Metálico	Bien	Bien
Matanzas	Rayonitro	Arsénico	2 289		Desconocido	Regular	Mal
Pinar del Río	Sulfometales	Arsénico	5 000		Desconocido	Regular	Mal
Cienfuegos	EQUIFA	Arsénico		11 177	Desconocido	Regular	Mal
Cienfuegos	EQUIFA	Arsénico		2 280			
Cienfuegos	EQUIFA	Arsénico	1 356 000		Desconocido	Regular	Mal
La Habana	EMI Yuri Gagarin	Arsénico	4		Vidrio	Bien	Bien
Pinar del Río	Desconocido	Arsénico	36		Desconocido	Regular	Bien

## **Guía de entrevista a trabajadores jubilados de la Empresa de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos**

**Entrevistado:**

**Categoría científica:**

**Cargo ocupado:**

**Tiempo de trabajo en la empresa:**

**Preguntas:**

1. ¿Dónde se encuentra localizada la empresa?
2. ¿Cuándo comienza a trabajar la fábrica?
3. ¿Cuántas plantas existían?
4. ¿Qué materias primas producían y si todas las plantas eran con el propósito de producir fertilizantes?
5. ¿Qué área es la más próxima a ser contaminada además del suelo?
6. ¿Cuál era la materia prima utilizada para la producción de amoníaco? Argumente brevemente el proceso cuando la nafta llega a la planta.
7. ¿En qué momento de la producción de Amoníaco comienza a utilizarse el arsénico?
8. ¿Para qué se utiliza el CO<sub>2</sub> que sale de la planta?
9. ¿Cuáles eran los residuos que generaba la planta?
10. ¿Si el arsénico era reutilizado durante el proceso porqué existen los desechos arsenicales en la planta?

### **Anexo 3**

#### **Guía de entrevista a trabajadores de la Empresa Química de Cienfuegos (EQUIFA)**

**Entrevistado:**

**Categoría científica:**

**Cargo ocupado:**

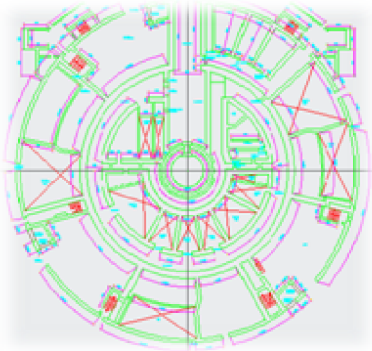
**Tiempo de trabajo en la empresa:**

**Preguntas:**

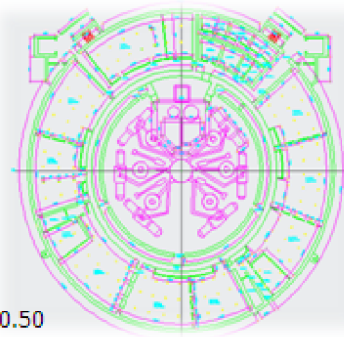
1. ¿En qué año deja de producir la empresa?
2. ¿Qué se hizo con los equipos que había de la planta de amoníaco?
3. ¿En qué estado de almacenamiento se encuentran los equipos y desechos de arsénico?
4. ¿Qué áreas pudieran sufrir los impactos de la contaminación por arsénico?
5. ¿Considera necesaria la inversión de una tecnología para el tratamiento y posterior confinamiento del arsénico? ¿Por qué?
6. ¿Conoce que existe la propuesta de un plan de acciones para el manejo de los desechos arsenicales en la empresa?
7. ¿Cuáles de estas acciones se han concretado hasta el momento?

## Anexo 4

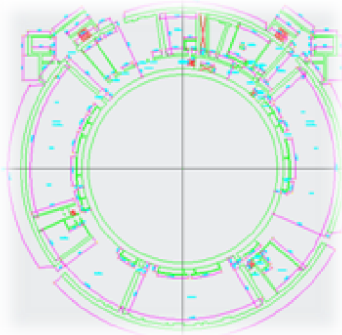
Vista aérea del reactor de la CEN. Diferentes niveles.



Nivel 0.00

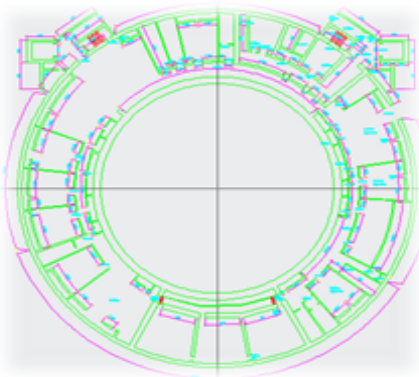


Nivel 10.50



Nivel 12.90

Nivel 17.25



Nivel 26.50

