

**INVESTIGACIÓN SOBRE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE
BOMBILLOS Y LUMINARIAS DE VAPOR DE MERCURIO PARA
APLICAR EN BOGOTÁ**

OLGA LUCIA AYALA MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTADER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2013

**INVESTIGACIÓN SOBRE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE
BOMBILLOS Y LUMINARIAS DE VAPOR DE MERCURIO PARA
APLICAR EN BOGOTÁ**

OLGA LUCIA AYALA MARTÍNEZ

Monografía para optar por el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director

RICHARD DÍAZ GUERRO
Esp. Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTADER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2013

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PRELIMINARES	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. MARCO TEORICO	14
2.1 GENERALIDADES.....	14
2.1.1 Tipos y características de las bombillas y luminarias de vapor de mercurio	14
2.1.2 El mercurio.....	18
2.1.3 Reglamentación aplicable a la gestión de residuos de bombillas y luminarias de vapor de mercurio.....	29
3. MÉTODOS DE LIBERACIÓN	34
3.1 MÉTODOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN EN COLOMBIA	35
3.2 MÉTODOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN EN OTROS PAISES	40
3.3. COMPARACIÓN AMBIENTAL DE METODOS.....	52
4. CONCLUSIONES	74
5. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de aspectos e impactos ambientales de rellenos de seguridad ...	52
Tabla 2. Matriz de aspectos e impactos ambientales de la destilación	57

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Partes de una luminaria.....	15
Figura 2. Maquinaria utilizada para recuperar el mercurio.....	37
Figura 3. Relleno de seguridad.....	40
Figura 4. MRT Continuo.....	43
Figura 5. Batch Distiller Continuous Flow Distiller.....	46

TÍTULO: INVESTIGACIÓN SOBRE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE BOMBILLOS Y LUMINARIAS DE VAPOR DE MERCURIO PARA APLICAR EN BOGOTÁ

AUTORES: OLGA LUCIA AYALA MARTÍNEZ

PALABRAS CLAVES: Disposición, mercurio, bombillas y luminarias de vapor de mercurio, relleno sanitario, destilación.

DESCRIPCION:

La disposición en rellenos sanitarios de los bombillos y luminarias de vapor de mercurio, ha venido generando impactos ambientales importantes al medio ambiente y a la salud humana. Este trabajo está orientado a la investigación de las diferentes metodologías existentes para disponer este tipo de residuos.

Al realizar la investigación de las diferentes metodologías de disposición aplicadas en Colombia y en algunos países del mundo, se encontró que la disposición en rellenos de seguridad y la recuperación del mercurio por medio de la destilación son los métodos más utilizados.

La finalidad de disponer las bombillas y las luminarias de vapor de mercurio en rellenos de seguridad, radica en interponer, entre el residuo y el ecosistema un conjunto de barreras naturales en ingenieriles, las cuales tienen por objetivo impedir o eliminar la llegada de los posibles lixiviados al hombre y al ambiente.

La destilación consiste en aplicar calor para vaporizar el mercurio, generando partículas orgánicas arrastradas por los gases, las cuales son oxidadas posteriormente en una cámara de combustión y por medio de una corriente de gas se enfría y condensa el mercurio.

Una vez identificados los principales métodos de disposición de este tipo de residuos, se realizó la comparación desde el punto de vista ambiental de las dos metodologías antes mencionadas, encontrando que el impacto potencial que se genera en los rellenos de seguridad es la contaminación del suelo, por los pasivos ambientales y el principal impacto generado por la destilación, es el agotamiento de recursos naturales por el consumo de energía y eventualmente la generación de residuos peligrosos por las trazas de mercurio que retienen los filtros de carbón activado.

*Monografía

**Facultad de Ingeniería Físicoquímica. Especialización en Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería Química, Universidad industrial de Santander. Director, Esp. Richard Diaz Guerrero.

TITLE: INVESTIGATION ABOUT FINAL DISPOSAL ALTERNATIVES OF BULBS AND MERCURY VAPOR LAMPS FOR APPLICATION IN BOGOTA

AUTHORS: OLGA LUCIA AYALA MARTINEZ

KEY WORDS: DISPOSAL, MERCURY, BULBS, MERCURY VAPOR LAMPS, SANITARY LANDFILL, DISTILLATION.

DESCRIPTION:

Disposition of bulbs and mercury vapor lamps in sanitary landfills have been generating important ecological impacts to environment and human health. This research is focused to the investigation of different methodologies existing to dispose this kind of waste.

When we studied the different disposal methodologies applied in Colombia, and in some other countries, we found that disposal in security landfills and mercury recovery through distillation method is the most used now a days.

The final purpose of disposing bulbs and mercury vapor lamps in security landfills, lies in interpose a set of natural barriers in ingenieriles, between residue and ecosystem, which intend to prevent or eliminate the potential arrival of lixiviates to human beings and environment.

Distillation consists in the application of heat to vaporize the mercury, creating organic particles dragged through gases. These particles are subsequently oxidized in a combustion camera through a gas stream which cools and condense the mercury.

Once the main methods of disposal for this kind of products were identified, it was made, from the environment point of view, the comparison between both methodologies previously mentioned, finding that potential impact generated in security landfills is the contamination of the ground, through environmental passives and main impact generated by the distillation it is the exhaustion of natural resources caused by energy consumption and eventually by the generation of dangerous waste originated by mercury traces which retains activated carbon filters.

*Monograph

**Engineering Faculty of the Physical Chemistry. Specialization in Environmental Engineering, School of Chemical Engineering, Industrial University of Santander. Director, Esp. Richard Diaz. Guerrero.

INTRODUCCIÓN

Los bombillos y luminarias de vapor de mercurio consumen cuatro veces menos energía y pueden durar hasta diez veces más que un bombillo incandescente, razón por la cual se han convertido en una alternativa para asegurar el uso eficiente de energía a nivel mundial. Hasta el momento esta tecnología no ha sido reemplazada por otra que ofrezca mejores resultados y no representa una amenaza para la salud humana ni el medio ambiente estando en condiciones intactas, sin embargo, al cumplir con su ciclo de vida, sí constituyen un problema debido a las liberaciones de mercurio que pueden provocarse si existe un mal tratamiento de sus residuos.

El mercurio es un elemento que existe en la naturaleza bajo diferentes estados y tiene diversos efectos adversos especialmente para el sistema nervioso de los seres humanos. El riesgo de hacer mal uso o disposición de los residuos peligrosos, es que la carga de mercurio llegue a contaminar las cuencas de los ríos y bosques lo cual traería como consecuencia un peligro teniendo en cuenta las características de persistencia, biocumulación y biomagnificación de este material que hace que “viaje” por todo el planeta y sea difícil controlar su eliminación ya que hace parte de la cadena alimenticia iniciando con los peces, continuando con los animales y finalizando en el ser humano. Pequeñas dosis de compuestos de mercurio pueden provocar deterioros serios de la salud a través del tiempo. El vapor de mercurio se absorbe en los pulmones, se disuelve en la sangre, y es transportado al cerebro, donde provoca grandes daños irreversibles en el sistema nervioso central, daño a las funciones del cerebro, daño en el ADN y cromosomas además de reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, dolor de cabeza, efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos.

En Colombia, existe una reglamentación que obliga a los productores, proveedores y consumidores de este tipo de productos a controlar el uso de los residuos, recopilarlos y disponerlos bajo condiciones controladas. Esta monografía tiene como objetivo investigar alternativas de disposición final de bombillos y luminarias de vapor de mercurio para aplicar en Bogotá. Para obtener la información de entrada que ayudara a definir el problema, se consultó a través de buscadores de la red la reglamentación aplicable en Bogotá y las disposiciones establecidas en ella, al igual que los mecanismos vigentes para asegurar su cumplimiento. Se realizaron entrevistas con entidades y personas conocedoras del tema y se investigaron tecnologías para disponer estos residuos.

Metodológicamente esta monografía está estructurada en cuatro capítulos que comprenden desde el planteamiento del problema, hasta la comparación ambiental de los métodos de disposición de bombillas y luminarias de vapor de mercurio que hay en el mercado. Incluye fundamentos teóricos asociados con las partes y el mecanismo de funcionamiento de los bombillos y lámparas de mercurio, las características y peligros de estar expuesto a este material y la descripción de las tecnologías de disposición. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones para aplicar la disposición de estos residuos en Bogotá.

1. PRELIMINARES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia desde el año 2005 expidió la política para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, los objetivos específicos orientan su aplicación a la minimización y prevención en la generación y a promover el manejo ambientalmente adecuado de los Residuos Peligrosos -RESPEL. La promoción de los procedimientos adecuados para la gestión integral también hace parte de los objetivos específicos que se ha trazado en la política nacional. Las obligaciones de las autoridades ambientales están establecidas en el Capítulo V del Decreto 4741 de 30 de noviembre de 2005 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y en el cual se considera como residuo peligroso, Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de sustancias y/o compuestos de Mercurio.

Los sistemas de iluminación contribuyen a la contaminación con desechos propios de sus elementos, especialmente el de luminarias, ya que estas poseen (a excepción de las incandescentes) componentes nocivos como el mercurio, un metal pesado y tóxico, en cantidad que oscila entre 2 y 10 mg por bombilla.

Las lámparas fluorescentes compactas- LFC, consumen cuatro veces menos energía y pueden durar hasta diez veces más que un bombillo común y estando en condiciones intactas no representan una amenaza para la salud humana y el medio ambiente, mientras la gente puede estar expuesta a niveles tóxicos de vapor de mercurio por las lámparas rotas. Aunque cada lámpara fluorescente sólo contiene una pequeña cantidad de mercurio, si suele ser importante los millones de vertimientos de la masa acumulada de mercurio (1).

Estos residuos peligrosos (RESPEL) están siendo manejados conjuntamente con los residuos no peligrosos a través de la prestación del servicio público domiciliario de aseo y dispuestos en los rellenos sanitarios y en los peores casos en los botaderos a cielo abierto, los cuales no garantizan el manejo ambientalmente adecuado de los mismos.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Investigar sobre alternativas de disposición final de bombillos y luminarias de vapor de mercurio para aplicar en Bogotá.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las tecnologías empleadas actualmente en Colombia para la disposición de los bombillos y luminarias de vapor de mercurio.
- Investigar otras tecnologías aplicadas en otros países para la disposición final de bombillos y luminarias de vapor de mercurio.
- Comparar desde el punto de vista ambiental las diferentes tecnologías.

2. MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Tipos y características de las bombillas y luminarias de vapor de mercurio

Las lámparas de vapor de mercurio se clasifican así:

- Baja presión: Lámparas fluorescentes
- Alta presión: Lámparas de vapor de mercurio de alta presión, lámparas de mezcla y lámparas con halogenuros metálicos.

Baja presión:

Lámparas Fluorescentes: Las partes principales que componen las lámparas fluorescentes son:

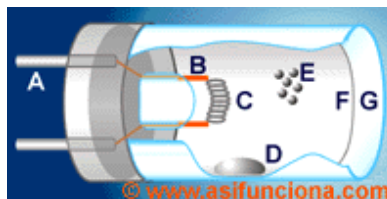
- Tubo de descarga
- Casquillos con los filamentos
- Cebador, encendedor o arrancador (*starter*)
- Balasto (*ballast*)

Tubo de descarga. El cuerpo o tubo de descarga de las lámparas fluorescentes se fabrica de vidrio, con diferentes longitudes y diámetros. La longitud depende, fundamentalmente, de la potencia en watt (W) que desarrolle la lámpara. El diámetro, por su parte, se ha estandarizado a 25,4 mm (equivalente a una pulgada) en la mayoría de los tubos. Los más comunes y de uso más generalizado tienen forma recta, aunque también se pueden encontrar con forma circular

La pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta (que se generan dentro y que no son visibles para el ojo humano), en radiaciones de luz visible. Para que eso ocurra, su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (Ar) y una pequeña cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara, así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo.

Casquillos. La mayoría de los tubos fluorescentes rectos poseen en cada uno de sus extremos un casquillo con dos patillas o pines de contactos eléctricos externos, conectadas interiormente con los filamentos de caldeo o de precalentamiento. Estos filamentos están fabricados con metal de tungsteno, conocido también como wolframio (W), recubiertos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) y su función principal en los tubos de las lámparas fluorescente es calentar previamente el gas argón que contienen en su interior para que se puedan encender.

Figura 1. Partes de una luminaria



Patillas o pines de contacto. B. Electrodo. C. Filamento de tungsteno. D. Mercurio (Hg) líquido. E. Átomos de gas argón (Ar). F. Capa o recubrimiento fluorescente de fósforo (P). G. Tubo de descarga de cristal

FUENTE: Página web [asifunciona.com](http://www.asifunciona.com) – sección electrotecnia

El recubrimiento de calcio y magnesio que poseen los filamentos facilita la aparición del flujo de electrones necesario para que se efectúe el encendido de la lámpara. En medio de ese proceso los filamentos se apagan y se convierten

en dos electrodos, a través de los cuales se establece ese flujo de corriente o de electrones

Los tubos fluorescentes constan de una envoltura de vidrio, cubierta interiormente con compuestos de fósforo y dos cátodos, uno en cada extremo, con electrodos los cuales conducen la energía desde y hacia los cátodos (ver figura 1). La radiación emitida es primordialmente ultravioleta, y por tanto se requiere la capa de fósforo para absorber la energía y convertirla a radiación visible

Alta presión: Lámparas de vapor de mercurio de alta presión, lámparas de mezcla y lámparas con halogenuros metálicos

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

A medida que se aumenta la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404,7 nm, azul 435,8 nm, verde 546,1 nm y amarillo 579 nm). En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas.

Para resolver este problema se acostumbra a añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación, se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

Lámparas de luz de mezcla.

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K. La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

Lámparas con halogenuros metálicos.

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V).

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

2.1.2 El mercurio

El mercurio es un elemento que existe en la naturaleza bajo diferentes modalidades, ya sea en forma metálica (de color plateado y líquido), de vapor o gas, combinado con otros elementos (como cloro, sulfuro u oxígeno) para formar sales orgánicas, o bien formando compuestos orgánicos (como el metilmercurio

o el fenilmercurio), los cuales también pueden presentarse en forma de sales. A través de procesos naturales, en los que pueden intervenir microorganismos, el mercurio inorgánico puede ser transformado lentamente en mercurio orgánico.

El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (representado también como Hg(0) o Hg⁰). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente (representado como Hg(I) y Hg(II) o Hg²⁺, respectivamente). A partir del Hg(II) se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio.

El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, y si no está encapsulado, el mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio. Los vapores de mercurio son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido. Algunas personas que han inhalado vapores de mercurio indican haber percibido un sabor metálico en la boca.

El mercurio se extrae como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio). A lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico. La forma metálica se refina a partir del mineral de sulfuro de mercurio calentando el mineral a temperaturas superiores a los 540° C. De esta manera se vaporiza el mercurio contenido en el mineral, y luego se captan y enfrían los vapores para formar el mercurio metálico líquido.

Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl₂). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el sulfuro de mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de mercurio (como el HgCl₂) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de mercurio elemental.

Liberación del mercurio de los residuos de lámparas fluorescentes al ambiente.

En los residuos urbanos es común encontrar mezclados residuos de lámparas fluorescentes con contenido de mercurio, los cuales históricamente han sido dispuestos en los rellenos sanitarios en el mejor de los casos o en los botaderos al aire libre donde se llevan a cabo emisiones a la atmósfera por la volatilización del mercurio y la infiltración de lixiviados de este tipo de residuos a los depósitos de agua subterránea

El mercurio está presente en todo el medio ambiente.

Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos

de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio.

Persistencia del mercurio.

La fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de mercurio de diversas fuentes que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, el mercurio permanece en el medio ambiente, donde circula entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas. Las emisiones actuales se añaden al fondo de mercurio existente en el mundo que se sigue movilizándose, depositándose en la tierra y el agua y volviendo a moverse.

La forma en que se libera el mercurio varía según los tipos de fuentes y otros factores. La mayoría de las emisiones al aire son en forma de mercurio elemental gaseoso, que es transportado en todo el mundo a regiones alejadas de las fuentes de emisión. Las emisiones restantes se producen en forma de mercurio gaseoso, inorgánico, iónico (como el cloruro de mercurio) o consolidado en partículas emitidas. Estas formas tienen un período de vida más corto en la atmósfera y se pueden depositar en tierras o masas de agua a distancias aproximadas de 100 a 1000 kilómetros de su fuente. El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en mercurio iónico, que crea una vía importante para el depósito del mercurio elemental emitido.

Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en

las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es, pues, la forma que causa mayor preocupación. Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio.

Efectos graves de la exposición al mercurio.

El mercurio tiene diversos efectos adversos, importantes y documentados, sobre la salud humana y el medio ambiente de todo el mundo. El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta. Los seres humanos pueden estar expuestos al mercurio de diversas formas, incluido, entre otras cosas, el consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen mercurio.

El metilmercurio tiene efectos adversos para los seres humanos y la vida silvestre. Este compuesto atraviesa rápidamente la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, y es un neurotóxico que puede afectar muy negativamente el desarrollo del cerebro.

Los estudios han demostrado que la presencia de metilmercurio en las dietas de mujeres embarazadas puede surtir efectos adversos sutiles pero persistentes en el desarrollo del niño, que se observan desde el comienzo de la edad escolar. Algunos estudios indican, además, que los pequeños aumentos en la exposición al metilmercurio pueden afectar negativamente al sistema cardiovascular. Un número importantísimo de personas y animales silvestres están actualmente expuestos a niveles que plantean riesgos de este tipo y posiblemente otros efectos adversos.

Algunos grupos reaccionan de manera particular a la exposición al mercurio, en particular los fetos, los recién nacidos y los niños pequeños, debido a que el sistema nervioso en desarrollo es muy delicado. De ahí que los padres, las mujeres embarazadas y las que pudieran estarlo deban tener plena conciencia de los posibles daños que causa el metilmercurio. El consumo moderado de pescado (con niveles de mercurio bajos) probablemente no presentará un nivel peligroso de exposición. Las poblaciones indígenas, sin embargo, así como otros grupos que consumen grandes cantidades de pescado o mamíferos marinos contaminados, y los trabajadores que están expuestos al mercurio, como los que trabajan en actividades mineras de oro y plata en pequeña escala, pueden estar expuestos a niveles altos de mercurio y, por lo tanto, corren riesgo.

Aparte de su importancia para muchas culturas indígenas, el pescado constituye un componente muy valioso de la dieta humana en muchas partes del mundo, ya que proporciona nutrientes que, por regla general, no se encuentran en otras fuentes alimenticias. El mercurio constituye una importante amenaza para esta fuente de alimentos. De igual modo, el pescado contaminado puede crear graves problemas económicos para las comunidades y regiones que dependen de la pesca para su supervivencia.

Hay también algunos ecosistemas y poblaciones de vida silvestre que son particularmente vulnerables, entre ellos los principales depredadores de las redes alimenticias acuáticas (como las aves y los mamíferos que se alimentan de pescado), los ecosistemas del Ártico, los humedales, los ecosistemas tropicales y las comunidades microbianas del suelo.

Uso y comercio del mercurio.

Pese a que hay un mayor conocimiento de los riesgos que entraña el mercurio, éste se sigue usando en diversos productos y procesos en todo el mundo. El metal de mercurio elemental se utiliza en la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; los manómetros de medición y control; los termómetros, interruptores eléctricos; lámparas fluorescentes, y amalgamas dentales. Los compuestos del mercurio se utilizan en baterías, biocidas en la industria del papel, productos farmacéuticos, pinturas y desinfectantes de semillas y como reactivos de laboratorio y catalizadores industriales.

Hay un comercio importante y permanente de mercurio y productos que contienen mercurio, parte del cual es ilícito y no está controlado ni regulado. Esta corriente de mercurio en el comercio internacional es la parte menos conocida de los importantes movimientos mundiales de este mineral. Pese a que en los últimos años han disminuido las cantidades de mercurio comercializadas (y extraídas), todavía se transportan cantidades considerables. Preocupa en particular el hecho de que no ha disminuido la demanda en muchas naciones en desarrollo. El mercurio disponible en el mercado mundial proviene de diversas fuentes, entre otras:

- La minería del mercurio (extraído de minerales de la corteza de la tierra), ya sea como producto principal o como subproducto de la extracción y la refinación de otros metales (oro, zinc) o minerales;
- Las existencias privadas y gubernamentales (mercurio en plantas de cloro-álcali, reservas oficiales);
- El mercurio reciclado de productos agotados y desechos industriales.

Aunque sujetos a reglamentos y restricciones, actualmente en vigor, muchos de los usos y movimientos del mercurio y de productos que contienen mercurio probablemente darán lugar a liberaciones de mercurio al medio ambiente mundial. Entretanto, siguen constituyendo un peligro de liberaciones futuras las

grandes cantidades de mercurio que permanecen en desechos de minería, depósitos de basura y sedimentos, así como en los almacenes. En consecuencia, tal vez sea conveniente la adopción de medidas para reducir, manejar y ordenar los usos, las existencias y el comercio en los planos local, regional, nacional e internacional para prevenir o reducir al mínimo las futuras liberaciones.

Penetración del mercurio en las personas y el medio ambiente.

Aunque las condiciones locales pueden influir en la exposición al mercurio de ciertas poblaciones, la mayoría de las personas están expuestas principalmente al metilmercurio por medio de los alimentos (especialmente el pescado) y a los vapores del mercurio elemental en la forma de amalgamas dentales y actividades laborales. El vapor de mercurio elemental es también tóxico para el sistema nervioso y otros órganos. Mientras que el metilmercurio es el principal motivo de preocupación para la población en general, también preocupan las exposiciones a elevadas concentraciones de mercurio elemental.

Se han medido niveles elevados de metilmercurio en numerosas especies de peces marinos y de agua dulce de todo el mundo. Se encuentran niveles elevados en los peces depredadores de gran tamaño y en mamíferos que consumen peces. Los estudios de la exposición en diferentes zonas geográficas indican que una proporción importante de seres humanos y vida silvestre de todo el mundo está expuesta a niveles de metilmercurio que son motivo de preocupación, principalmente por el consumo de pescado contaminado.

Según el grado de contaminación local con mercurio, la ingesta total de mercurio por el agua y el aire puede aportar otras cantidades sustanciales. Además, el empleo de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del mercurio con ciertos fines religiosos, culturales y rituales, su uso en algunas

medicinas tradicionales y el mercurio en los hogares y en el ambiente de trabajo pueden dar lugar a aumentos sustanciales de la exposición humana. Se producen también exposiciones por el uso de vacunas y otros productos farmacéuticos que contienen preservantes de mercurio (como el timerosal o el tiomerosal).

e han notificado niveles elevados de mercurio elemental en el entorno de trabajo de plantas de cloro-álcali, minas de mercurio, fábricas de termómetros, refinerías, clínicas dentales y la minería y procesamiento de oro y plata extraídos con mercurio. Los efectos relativos de la contaminación local (como en las minas clausuradas), la exposición ocupacional y las tradiciones locales pueden variar considerablemente de un país a otro y se sabe que son importantes en algunas zonas.

Numerosas especies de animales silvestres con dietas basadas principalmente en el pescado pueden tener niveles de mercurio elevados que aumentan el riesgo de los efectos adversos. Entre los animales con niveles de mercurio más altos figuran, entre otros, la nutria, el visón, las aves de rapiña, las águilas y el Martín pescador, que son los depredadores que se encuentran en el nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Por ejemplo, los huevos de ciertas especies de aves canadienses presentan niveles de mercurio que amenazan la reproducción. Además, los niveles de mercurio en la foca anillada y la ballena blanca del Ártico han aumentado de dos a cuatro veces en los últimos 25 años en algunas zonas de Groenlandia y el Ártico canadiense. En aguas más cálidas, algunos mamíferos marinos predadores también están expuestos a riesgos. Además, estudios recientes indican que hay suelos adversamente afectados en grandes partes de Europa y posiblemente en muchos otros lugares. En algunos medios, sin embargo, ni siquiera las cargas de mercurio relativamente altas surten efectos perceptibles en los organismos, ya que bien no se ha producido una bioacumulación efectiva de mercurio en la cadena

alimentaria local o su metilación no resulta fácil. Por otra parte, en ciertos lugares, es posible que los efectos de las prácticas de ordenación de las cuencas hidrográficas en los niveles de metilmercurio sean más importantes que las aportaciones directas o difusas de mercurio.

Exposición al mercurio.

A diferencia de otros metales, el mercurio está continuamente recirculando en los distintos compartimentos ambientales, a lo cual se agrega su metilación a través de procesos biológicos y su bioacumulación en diferentes organismos vivos.

La contaminación del suelo y de los cultivos agrícolas ocurre tanto por el depósito de las partículas del aire, como de la irrigación de cultivos o su fertilización con aguas o con lodos de plantas de tratamiento de agua residual conteniendo concentraciones elevadas de mercurios de origen industrial.

Ya que se le encuentra normalmente en la naturaleza y existen múltiples fuentes antropogénicas que lo emiten al ambiente, todos podemos llegar a exponernos a bajas concentraciones de mercurio a través del aire (inhalación), el agua y los alimentos (ingestión).

El mercurio en el medio acuático se acumula en la biota conforme aumenta su edad y se biomagnifica en cada uno de los niveles tróficos que constituyen la cadena alimentaria. Por lo anterior, y de acuerdo con el Programa Internacional de Seguridad Química (PSIQ) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la forma más riesgosa de exposición deriva de la ingestión de pescado conteniendo niveles elevados de metilmercurio.

También puede darse la exposición a partir del consumo de medicamentos y

cosméticos que contengan mercurio y del contacto con otros productos descritos previamente, en todos los casos, la magnitud de la exposición puede variar grandemente.

Para determinar la exposición humana, es preciso tomar en cuenta el ingreso diario de mercurio al organismo por distintas vías (por ejemplo ingestión de alimentos), la forma particular de mercurio que ingresa (por ej. el metilmercurio) y el tiempo de retención dentro del organismo.

El mercurio, en contacto con el agua, se transforma en un potente veneno cuyo efecto tarda unos 50 años en desaparecer. Afecta a animales y plantas, y, por la cadena alimenticia, también al hombre.

Los elementos más frecuentes de contaminación de suelos provocados por la mala disposición final de los residuos de lámparas fluorescentes son los metales como el mercurio, zinc, níquel, cadmio, plomo, y manganeso.

Efectos tóxicos en seres humanos

La exposición a concentraciones elevadas del mercurio puede provocar daños permanentes en el cerebro, los riñones y en los fetos en desarrollo, como ocurrió en los habitantes de Minamata en Japón que ingirieron pescado contaminado con mercurio o con la población de Guatemala que ingirió semillas tratadas con mercurio. En particular, el sistema nervioso es muy sensible a los efectos del mercurio, los cuales se manifiestan por distintos tipos de desórdenes que son más severos conforme la exposición aumenta: irritabilidad, nerviosismo, temblor, cambios en la visión y audición, problemas de memoria. Aunado a lo anterior, exposiciones de corta duración a vapores conteniendo concentraciones elevadas de mercurio metálico, así como exposiciones continuas por largos periodos a concentraciones menores, pueden dañar los pulmones, causa náusea, vómito o diarrea, elevar la presión sanguínea y causar irritación de la

piel y de los ojos.

La absorción del mercurio depende de su forma química, por ejemplo, el metilmercurio se absorbe en 90% y el cloruro de mercurio sólo en 2%. Los niños son especialmente vulnerables a los efectos del mercurio ya que pasa más a su cerebro que en el adulto e interfiere con su desarrollo.

Efectos tóxicos en animales

En los animales produce los mismos efectos que en las personas, en ellos han sido estudiados los efectos de la exposición de corta y larga duración a través del agua, de los alimentos o de la inhalación de polvo. Estos estudios muestran que por vía oral el mercurio inorgánico puede ocasionar daño renal, efectos en la presión sanguínea y el estómago, así como reacciones autoinmunes y alteraciones en el sistema nervioso. Por su parte, la exposición a corto plazo afecta a fetos. El mercurio orgánico en exposiciones a largo plazo provoca daño renal, estomacal, intestinal, alteraciones en la presión sanguínea, efectos adversos en el feto, esperma y órganos reproductivos masculinos, además de abortos espontáneos y muertes al nacer; el sistema nervioso es más sensible que los otros órganos a los efectos tóxicos de estos compuestos; también hay indicios de que pudiera ocasionar cáncer renal.

2.1.3 Reglamentación aplicable a la gestión de residuos de bombillas y luminarias de vapor de mercurio

En Colombia se inicia el desarrollo normativo en materia ambiental frente a la gestión de residuos de aparatos eléctricos (del cual hacen parte los bombillos y luminarias de vapor de mercurio) con el Decreto Ley 2811 de Julio 26 de 1974 o Código de Recursos Naturales expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el que se establece que atendiendo al volumen y a la

cantidad de los residuos generados, se impondrá a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos, o disponer de ellos. Esta afirmación regula la responsabilidad frente a los residuos, pero aun no discrimina el tipo de residuos que se producen. Esta norma es reglamentada por la Ley 9 de enero 24 de 1979 expedido por el Congreso de Colombia y en ella se contemplan disposiciones generales de orden sanitario para el manejo, uso, disposición y transporte de residuos sólidos y establece la responsabilidad de la cual son titulares quienes produzcan basuras con características especiales calificando de esta manera los residuos sólidos. Este planteamiento es desarrollado por la resolución 2309 de 24 de Febrero de 1986 expedido por el Ministerio de Salud, la cual definió los residuos peligrosos aunque no los llamó de esa manera, sino que los caracterizó como especiales. Otras disposiciones posteriores, como la Resolución 189 de 15 de julio de 1994, expedida por el Ministerio de Ambiente, prohíbe la introducción al país de desechos tóxicos.

En materia asociada al desarrollo de las funciones ambientales de los municipios, el concejo del Distrito Capital de Bogotá en uso de sus atribuciones constitucionales y legales, expidió el acuerdo 19 de 1996 por medio del cual adopto el Estatuto General de protección Ambiental del Distrito Capital, por el cual se dictaron normas básicas para garantizar el patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente.

Con el Decreto Reglamentario 4741 de 30 de noviembre de 2005 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (reglamentario del Decreto Ley 2811 de diciembre 18 de 1974, Código de Recursos Naturales Renovables, de la Ley 9 de enero 24 de 1979 expedida por el Congreso de Colombia y de la ley 430 de enero 16 de 1998 expedida por el Congreso de la Republica, hoy derogada), referente a la prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos, se buscó en el marco de la gestión integral de residuos, prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular

el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. En el anexo 2 del decreto en referencia (ver anexo 1), se establece que se consideran como residuos peligrosos, los incluidos en la lista de residuos o desechos peligrosos por corriente de residuo y que bajo el código A1180 se identifican los Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de estos que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes del Anexo I (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del Anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110), evidenciando de esta manera el contenido de peligrosidad que algunos de los componentes de aparatos eléctricos y electrónicos integran. Por lo anterior y en el marco de la política integral de manejo de Residuos Peligrosos, se establece la necesidad de regular la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, determinando entre otras metas, la reducción de su generación.

El acuerdo 322 de septiembre 24 de 2008 del Concejo de Bogotá, ordena a la Secretaria Distrital de Ambiente, diseñar la estrategia de Gestión integral para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs), para el Distrito Capital, atendiendo a los datos obtenidos respecto de su gestión, que indican que los mismos se producen en una gran cantidad en el distrito, además de que en su mayoría se disponen junto con los residuos ordinarios, desatendiendo el hecho de que los mismos contienen componentes peligrosos. El Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial por medio del Decreto 2820 de 5 de agosto de 2010, dispuso que para aparatos eléctricos y electrónicos usados no se requiere de licencia ambiental. Y por medio de la resolución 1511 de 5 de agosto 2010 expedida por el Ministerio mencionado anteriormente, en la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas y se adoptan otras disposiciones.

Esta resolución establece como requisito que los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas sean formulados por los productores, los cuales podrán optar por cumplir esta obligación, mediante la constitución de un sistema individual o colectivo, según sea el caso. Se entiende como un productor de bombillas la persona natural o jurídica que, con independencia de la técnica de venta utilizada:

- Fabrique en el país bombillas bajo su propio nombre o marca o haga diseñar o fabricar bombillas y las ponga en el mercado bajo su nombre o marca;
- Ponga en el mercado bajo su nombre o marca bombillas fabricadas por terceros, siempre y cuando la marca del fabricante no aparezca en la bombilla;
- Importe o introduzca al país bombillas procedentes de otros países (incluidos aquellos que importan para su propio uso).

Unas de las características de los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas es permitir a los consumidores devolverlos a través de puntos de recolección o mecanismos de recolección, no generar costos para el consumidor al momento de la entrega de los residuos de bombillas y contemplar alternativas de aprovechamiento y/o valorización de manera prioritaria. Los productores de bombillas están obligados a presentar a la “Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial” a más tardar el 31 de marzo de cada año, un informe, en medio físico y magnético, sobre el desarrollo del “Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas. Las metas de recolección, a partir del año 2012, deben asegurar la recolección mínima anual del 5% de los residuos de bombillas y en los años posteriores, se debe garantizar una recolección con incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 60% como mínimo de los residuos de bombillas.

La resolución también establece requisitos de almacenamiento, capacidad del mismo, tiempo de permanencia máximo, medidas de seguridad y restricciones respecto a evitar el aprovechamiento en estos sitios. En cuanto al transporte exige el cumplimiento del Decreto 1609 de 31 de julio de 2002 expedido por Ministerio de Transporte.

Los residuos de bombillas deberán ser gestionados debidamente en sus fases de almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, valorización y/o disposición final, por personas naturales o jurídicas autorizadas de conformidad con las normas ambientales vigentes. También se establecen obligaciones para:

- Los productores: cumplir metas, disponer de puntos de recolección teniendo en cuenta la densidad de la población, identificar y proteger contenedores en el centro de acopio, cumplir con condiciones reglamentarias de transporte de los residuos, asumir costos de la recolección y financiar campañas de información a consumidores y público en general.
- Los proveedores: aceptar la devolución de los residuos de bombillas, sin cargo alguno para el consumidor, informar a los consumidores sobre los puntos de recolección disponer, sin costo alguno para los productores, un espacio para la ubicación del contenedor o recipiente que disponga el productor para la entrega y recolección de los residuos de bombillas por parte de los consumidores, garantizar la seguridad de los recipientes o contenedores que se ubiquen dentro de sus instalaciones para la entrega y recolección de los residuos de bombillas; apoyar campañas de divulgación y suministrar documentos de los productores asociados con el tema.
- Los consumidores deben retornar o entregar los residuos de bombillas a través de los puntos de recolección o los mecanismos equivalentes establecidos por los productores; cumplir con requisitos de manejo seguro y separar los residuos de bombillas de los residuos sólidos domésticos para su entrega en puntos de recolección.

3. MÉTODOS DE LIBERACIÓN

Los métodos específicos para controlar las liberaciones de mercurio varían mucho según la fuente de donde provengan y las circunstancias locales de cada país, pero pueden agruparse en cuatro categorías:

- A.** Reducción de la extracción y consumo de mercurio en materias primas y productos que originan liberaciones de mercurio;
- B.** Sustitución o eliminación de productos, procesos y prácticas que contienen o utilizan mercurio;
- C.** Control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo;
- D.** Gestión de desechos de mercurio.

Las dos primeras son medidas “preventivas” –evitan algunos usos o liberaciones de mercurio. Las otras dos son medidas “de control”, que reducen (o retrasan) algunas liberaciones antes de que lleguen al medio ambiente.

- La alternativa A aplica solo a materias primas y productos que generan liberaciones de mercurio.
- La alternativa B consiste en sustituir productos que contienen mercurio y procesos que lo utilizan con productos y procesos sin mercurio puede ser una de las medidas preventivas que más pueden influir en todo el flujo del mercurio en la economía y el medio ambiente. Puede reducirse sustancialmente el mercurio en los hogares (y reducir liberaciones accidentales, por ejemplo, cuando se rompe un bombillo de vapor de mercurio), el medio ambiente, flujo de desechos, emisiones de incineradores y rellenos sanitarios. Los sustitutos son, en su mayoría, rentables, sobre todo porque su demanda es cada vez mayor. En este grupo de medidas cabe también la conversión a tecnologías sin combustibles fósiles en las

plantas generadoras que hasta ahora los utilizan. Sin embargo, sería un error suponer que la sustitución es siempre la mejor opción. Por ejemplo, en el caso de las lámparas fluorescentes de eficiencia energética, mientras no haya sustituto competitivo que no use mercurio, desde la perspectiva del ciclo de vida del producto es preferible utilizar una lámpara de eficiencia energética que contenga mercurio que utilizar una lámpara fluorescente común, menos eficiente, que no contenga mercurio, en vista de las prácticas actuales de producción de electricidad.

- La alternativa C es apropiada para procesos que utilizan materias primas con contaminación mínima de mercurio: centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles, la producción de cemento (en el que la cal, como materia prima, suele contener cantidades mínimas de mercurio), la extracción y la elaboración de materias primas como hierro y acero, ferromanganeso, zinc, oro y otros metales no ferrosos y la elaboración de materias primas secundarias como chatarra de hierro y acero.
- La alternativa D, la gestión de los desechos de mercurio, consiste en volver inerte el contenido de mercurio de los desechos, para luego depositarlos en rellenos sanitarios controlados, o bien depositarlos sin tratamiento previo.

3.1 MÉTODOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN EN COLOMBIA

- **Recuperación del mercurio por destilación.**

En el Valle del Cauca, la empresa INNOVACIÓN AMBIENTAL –INNOVA S.A.S. trabaja desde 2011 en el proyecto para reciclar mercurio por medio de destilación dirigido al mercado de dispositivos usados en iluminación. El principio de destilación simple, método que normalmente se utiliza en laboratorios químicos, es llevado a escala industrial.

Instalaciones físicas para el funcionamiento del equipo de desmercurización:

Consisten en un cuarto con dimensiones de 6 x 5 metros cuadrados, construido con materiales impermeables y lavables, dotado de iluminación óptima y una campana de extracción de posibles emisiones con filtro de carbón activado. El cuarto cuenta con la máquina de desmercurización, un tanque de nitrógeno, un tanque de agua para enfriamiento (la cual se recircula y no se descarga en ningún momento al alcantarillado) y un recipiente receptor de residuos resultantes del proceso.

Control de calidad: Periódicamente, y de acuerdo a las exigencias de licencia ambiental, se realizará el análisis (por TCLP) de contenido de Mercurio en materiales resultantes de tratamiento, como en el vidrio y polvo.

Funcionamiento del equipo:

La pieza principal del proceso es el equipo URL-2M, diseñado para desmercurización térmica (extracción de mercurio) de los residuos de origen inorgánico principalmente, y cuenta con cuatro patentes relacionados con la máquina y sus detalles constructivos. El nivel de contenido restante de mercurio en gases de escape, según mediciones del Instituto de Investigaciones Científicas de Medicina de trabajo, es significativamente más bajo que los límites permitidos por la norma europea para la zona residencial en una distancia de 25 m de la desembocadura de la expulsión.

El principio del funcionamiento de la máquina se basa en la fuerte dependencia de la presión del vapor saturado de mercurio con respecto a la temperatura. Las lámparas procesadas se cargan a la cámara de desmercurización, esta se cierra y se prende la cuchilla moledora, la cual destruye las lámparas dentro de la cámara herméticamente cerrada.

Posteriormente la cámara cargada de residuos se calienta hasta la temperatura de evaporación del mercurio, y los vapores se bombean por medio de una instalación con el sistema al vacío a través de una trampa de baja temperatura, en cuya superficie se realiza la condensación del mercurio, el cual llega a un recolector en forma de metal líquido después de descongelar la trampa.

Manejo de subproductos del proceso de desmercurización: El producto principal resultante es el mercurio recuperado, el cual resultara en cantidades muy pequeñas (p.ej. cantidad de lámparas fluorescentes tratadas diariamente con el funcionamiento durante 24 horas es de 2.200 unidades, cada una con el contenido aproximado de 6 mg de mercurio, resultando recuperación diaria de mercurio de 132 gramos), estimando la producción mensual de 3,7 kg y anual de aproximadamente 45 kilos. El mercurio es acumulado y almacenado en recipientes especiales y anualmente es comercializado. Los demás residuos como vidrio, casquillo de Al y polvo fluorescente (silicato) son separados por zarandeo y aprovechados (casquillo como materia prima de la fundición, vidrio y polvo fluorescente para materiales de construcción), en algunos casos cuando hay sobreoferta de materiales requerirán disposición final en relleno sanitario ya que no contienen sustancias peligrosas. No se generaran pasivos ambientales por la disposición final.

Figura 2. Maquinaria utilizada para recuperar el mercurio



FUENTE: Página web - INNOVACIÓN AMBIENTAL - INNOVA

- **Desactivación del mercurio con azufre en polvo**

La empresa Sylvania después de numerosas pruebas de laboratorio, determinó que la manera más sencilla de minimizar el impacto ambiental generado por las bombillas y las luminarias de vapor de mercurio, es estabilizando el mercurio que está en los tubos fluorescentes combinándolo químicamente con azufre en polvo para formar sulfuro de mercurio, que es un sólido insoluble y no tóxico.

El tratamiento consiste en rociar azufre en polvo dentro de una caja con fluorescentes, luego quebrar los tubos y embalar los desechos para favorecer el contacto y por ende la reacción, para después ser llevados al relleno sanitario. Para realizar esta actividad se construye una caja que tenga una tapa pesada y que posea elementos como barras o picos que sobresalgan de su cara inferior, de modo que al cerrarla quiebre los tubos de vidrio. La caja debe construirse de manera que luego sea fácil sacar los residuos de vidrio y materiales químicos para colocarlos en una bolsa gruesa o caja para su posterior disposición en un relleno sanitario. El tiempo de reacción entre mercurio y azufre no es estricto porque van a seguir reaccionando dentro de la bolsa. Es importante separar los vidrios más grandes y depositarlos en una caja con un rotulo de advertencia para que no provoquen un accidente a las personas que posteriormente van a manipular estos desechos.

Dentro de las consideraciones más importantes, está tomar las medidas de seguridad necesarias a la hora de quebrar los tubos como el uso de equipo de protección personal y la ejecución en un sitio ventilado.

- **Rellenos sanitarios.**

Consiste en el almacenamiento de mercurio en celdas de seguridad. El objetivo final de la gestión segura de los residuos es el confinamiento y aislamiento del

entorno humano por un período de tiempo y en condiciones tales que cualquier liberación del material contenido en los mismos, no suponga un riesgo inaceptable para las personas ni para el medio ambiente, tanto para las generaciones presentes como para las futuras. El alcance de esta gestión radica en la interposición, entre el residuo y el ecosistema de un conjunto de barreras naturales e ingenieriles. Este conjunto de barreras múltiples y redundantes tiene por objetivo impedir o eliminar la llegada de los posibles lixiviados al hombre y al ambiente. Cada una de estas barreras, física, ingenieril y geológica, cumple una función determinada. La barrera física permite contener y confinar los residuos, simplificando su manejo y transporte. La instalación de contenedores dentro de repositorios de disposición final, en los cuales se depositan los residuos acondicionados, constituye la barrera ingenieril y tiene como función limitar el escape, presentando un buen confinamiento durante un tiempo, no definido y que sería de interés determinar. Por último la barrera geológica, es decir, el sitio de emplazamiento de la instalación, detendrá o retrasará el acceso del residuo al medio ambiente y al hombre en el caso que fallaran las barreras anteriores.

Las instalaciones para su disposición final se reconocen como rellenos de seguridad y son usualmente estructuras monolíticas de enterramiento superficial. Éstos, comúnmente son los que albergan contenedores de hormigón dentro de los cuales se hallan los bultos de residuos acondicionados. Estas celdas conforman las barreras ingenieriles del relleno. La vida útil de estas instalaciones comprende tres etapas: durante la primera, de operación, la instalación recibe los residuos acondicionados hasta colmar la capacidad. La segunda, de control institucional, es el lapso requerido de vigilancia mientras los residuos allí dispuestos puedan presentar riesgo para el ambiente. En el caso del mercurio debería poder determinarse cuál es el período de almacenamiento previsto y con qué grado de peligrosidad.

La última etapa de banalización, comienza cuando el emplazamiento puede ser empleado sin restricciones para cualquier uso, es decir; cuando el impacto al individuo más expuesto sea inferior al fondo natural, sea cual fuere el uso del terreno.

Figura 3. Relleno de seguridad



FUENTE: Página web - Relleno de Seguridad de Recovering S.A

3.2 MÉTODOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN EN OTROS PAISES

- **En Trinidad y Tobago** se están sustituyendo algunos dispositivos que contienen mercurio.

Actualmente un importante fabricante de lámparas está produciendo lámparas fluorescentes de bajo contenido en mercurio (3 mg de mercurio por lámpara). Estas lámparas, una vez gastadas, se consideran en algunos países como Estados Unidos como desechos no peligrosos y pueden eliminarse en los vertederos municipales. Las lámparas están disponibles en el mercado de estos países y su utilización es un medio de controlar el mercurio.

- **En Canadá** la norma pancanadiense sobre lámparas que contienen mercurio adopta una actitud preventiva frente a la contaminación mediante la reducción

del contenido de mercurio de las lámparas que se venden en este país. La norma preveía una reducción del contenido de mercurio en todas las lámparas de Canadá del 70% en 2005, con respecto a las cifras de 1990 y del 80% en el 2010. El contenido promedio de mercurio en las lámparas fluorescentes ha pasado de 48,2 mg a 27 mg en 10 años, siendo el objetivo obtener 15 mg.

- **En Bielorrusia** hay tres organizaciones que trabajan para que las lámparas usadas que contienen mercurio resulten inocuas y una cuarta que también las convierte en inocuas y retira el mercurio de los desechos. La capacidad total de todas las organizaciones es de unos 3,5 millones de lámparas anuales y 10 toneladas métricas de desechos que contienen mercurio. Cada año se desechan en Bielorrusia alrededor de 1,2 millones de lámparas que contienen mercurio.
- **En Dinamarca** los productos que contienen mercurio en general están prohibidos, aunque las fuentes de iluminación especiales (tubos fluorescentes, incluidas las bombillas de bajo consumo, para aparatos de análisis y operaciones gráficas) están permitidas hasta nueva orden, dado que todavía no hay sustitutos satisfactorios.
- **En Suiza** todavía se siguen empleando de manera significativa las lámparas fluorescentes que contienen mercurio, aunque también hay un aumento de la tasa de reciclado. La organización Suiza que recicla los metales se especializa en las baterías y en otros desechos que contienen mercurio, de los que 32 toneladas métricas fueron lámparas fluorescentes rotas.

En este país la empresa MRT System International AB, desarrolló tecnologías para recuperar el mercurio del polvo de fósforo y pellets de las lámparas desechadas. Estas tecnologías son y permiten separar los componentes de las lámparas en sub-productos reutilizables.

MRT también dispone de una tecnología denominada End Cut Machines (ECMs) para procesar tubos fluorescentes lineares. ECMs produce vidrio puro de cal sodada y separa varios grados valiosos de polvo de fósforo.

Esta tecnología se ofrece de dos maneras:

a) MRT Continuos Process Distillers

-Proceso continuo

-Residuos que pueden ser tratados con esta tecnología: polvo fluorescente, tubos agotados y cualquier otro residuo con bajo contenido de materia orgánica.

El material a tratar se carga continuamente en un tambor de acero (puede tener varias bocas de entrada, según el residuo a tratar), donde se calienta hasta 700°C (normalmente 500°C) con lo cual el mercurio se vaporiza. La corriente de salida pasa por un sistema de enfriamiento donde el mercurio se condensa formando una camada de mercurio líquido.

La recuperación y la pureza del mercurio obtenido puede alcanzar el 99,9% o mayor en caso de tratar residuos con alto contenido de mercurio. Los subproductos obtenidos: (ej.: polvo fluorescente descontaminado) son enfriados para su posterior manejo.

El destilador continuo utilizado, viene con una cámara de combustión (por defecto, aunque puede removerse si sólo se procesan materiales inorgánicos, como polvo fluorescente), en la cual los residuos orgánicos de la corriente de salida son quemados/oxidados, evitando la emisión de dioxinas a la atmósfera. La temperatura de operación del incinerador está entre 825°C y 1000°C.

Este equipo cuenta con una cámara de combustión para evitar la emisión de dioxinas (aún en presencia de pequeñas cantidades de cloro en el residuo) y

para evitar tener materia orgánica no quemada, que con el tiempo puede obstruir el sistema.

La limitante en la cantidad de materia orgánica admisible se basa en este último punto; muestras con alto contenido de material orgánico hacen que sea necesaria una limpieza frecuente del destilador, y cambios de aceite y filtros en casi todos los procesos.

Las especificaciones técnicas de la metodología son:

- Capacidad (variable, en función del residuo a tratar): aprox. 600 L de materiales/24 horas.
- Máxima emisión de Hg a la atmósfera: $0,0025 \text{ mg/m}^3$
- Concentración remanente de mercurio en el residuo: máximo $0,05 \text{ mg/L}$
- Pureza Hg: 99,99%
- Consumo de energía: 25 Kw
- Aire comprimido: 6 bar, máximo $0,1 \text{ m}^3/\text{min}$; punto de rocío: 3°C
- Ventilación: aproximado $300 \text{ m}^3/\text{h}$; diámetro ducto salida: 125 mm.

Figura 4. MRT Continuo.



FUENTE: Página web – activepaper.smedia.com.au

b) MRT Batch Process Distillers

- Proceso en batch, automático, “modularizable”
- Residuos que pueden ser tratados con esta tecnología: polvo fluorescente, terminales de tubos fluorescentes, tubos de arcos de lámparas HID, pilas botón, termómetros, interruptores, amalgamas dentales y otros residuos con alta carga orgánica.

El material a tratar se carga por batch de residuos con mercurio en la cámara de vacío. Se aplica calor para vaporizar el mercurio. Las partículas orgánicas arrastradas por los gases son oxidadas en una cámara de combustión y luego la corriente de gas es enfriado, condensando el mercurio.

La temperatura y presión (vacío) de operación varían en función del residuo a tratar (distintos programas para las diferentes corrientes de residuos). En el proceso batch se utiliza un condensador de alta eficiencia, que utiliza temperaturas por debajo de cero para “capturar” el mercurio. Tanto el proceso batch como el continuo utilizan filtros de carbón para retener trazas de mercurio en fase de vapor.

Las especificaciones técnicas de la metodología son:

- Capacidad: 100 L/batch
- Recolección de material: barriles de acero inoxidable de 30L
- Temperaturas de operación: (400-675) °C– temperatura del equipamiento: entre (10 y 35) °C
- Vacío: máximo 10 mbar
- Conexión eléctrica: 400V, 50 Hz
- Consumo eléctrico: 35 Kw
- Aire comprimido: máximo 300 m³/batch, supply pressure: 5 bar, +- dry, flujo máximo: 2000 NI/min

-Nitrógeno: 7-10 m³/batch, 5 bar, *- dry, flujo máximo: 4000 NI/min

-Emisión Hg: máximo 0,025 mg/m³, promedio 0,0005 mg/m³.

Consideraciones finales:

-Estas dos tecnologías están equipadas con cámaras de combustión designadas y testeadas para el correcto manejo de las dioxinas que pueden generarse.

-Para garantizar una correcta oxidación/combustión se inyecta una mezcla de aire y oxígeno en la cámara de combustión. Sin embargo, para evitar los residuos en el interior de la máquina, se recomienda reducir la cantidad de materia orgánica dentro del destilador.

-Se recomienda no colocar los plásticos de los tubos y CFL en el destilador batch, sólo colocar el polvo; es más eficiente en términos de costo, romper la lámpara en el "lamp processor" y separar los residuos y luego destilar el polvo contaminado. Como aproximación, el polvo de 1 millón de lámparas genera 15 kg de mercurio líquido.

Los "lamp processor" son aquellos equipos donde ocurre la rotura de las lámparas, la separación de componentes y la captura del mercurio vapor en los filtros y el polvo fluorescente en contenedores que van a los destiladores batch. Si se utilizan estos procesadores de lámparas, del (90 al 95) % de los materiales quedan libres de mercurio, y sólo se destila entre (el 5 y 10)% del residuo.

-Tampoco se recomienda colocar las lámparas trituradas en el destilador batch, pero es posible hacerlo. En ese caso, el destilador más apropiado es el destilador de flujo continuo.

Teniendo en cuenta que para estas dos tecnologías se cargan residuos con alto contenido de materia orgánica y cloro, a las temperaturas de operación (500 a 700)°C es posible que se generen dioxinas. Es por esta razón, que todos los destiladores continuos tienen acoplado un incinerador para el tratamiento de dioxinas (el cual debería operar por lo menos a 1200°C con un tiempo de residencia de 2 segundos). Este incinerador también está presente para evitar la

contaminación del destilador con materia orgánica, en caso de que el residuo tenga una carga orgánica importante.

Otra opción es utilizar filtros de carbón activado para captar trazas de mercurio y dioxinas presentes en la corriente de salida.

Figura 5. Batch Distiller Continuous Flow Distiller.



FUENTE: Página web – Brando International

- **En Brasil** la empresa APLIQUIM, aplica la tecnología de “desmercurización térmica y la destilación” las cuales son capaces de extraer y recuperar el mercurio con buena calidad y pureza para su comercialización. En estos equipamientos, el polvo fluorescente y los bulbos enteros contaminados con mercurio pasan por un proceso de descontaminación, y el mercurio es recuperado en su estado líquido elemental. A través de estos procesos, también se realiza el tratamiento de termómetros, amalgamas dentales y otros residuos mercuriales. El proceso se realiza en batch sin agitación. La temperatura de operación está en el orden de los 500°C y se aplica un vacío de -300 g/cm².

Esta empresa ya utilizó el proceso continuo, para el tratamiento de lodos contaminados con mercurio de industrias cloro-soda

- **En Estados Unidos** están las empresas “Bethelm Apparatus Company” y AERC: Advanced Environmental Recycling Company, el proceso de esta última involucra el desmontaje físico (ruptura y separación de lámparas que contienen mercurio). En este proceso, se separan los componentes de las lámparas (vidrio, metales y polvo fluorescente con mercurio). AERC asegura que cada componente no presenta características de peligrosidad debida al mercurio, y que es recuperado y vendido como producto o sub-producto. Asociado al proceso de reciclaje esta el proceso térmico para la recuperación del mercurio metálico del polvo fluorescente. El mercurio recuperado en esta unidad, es luego procesado por triple destilado para lograr un metal de mayor calidad.

Otra tecnología desarrollada en este país es el E-Lampinator, desarrollada por Eco Distributors Intl llc, distribuidores autorizados de Soluciones de Reciclaje. Esta metodología consiste en triturar las lámparas lineales o no lineales de todo tipo y tamaño. Durante este proceso de trituración los residuos sólidos son acumulados dentro de un cilindro estándar de metal de 55 galones y mediante presión negativa el vapor de mercurio es capturado inmediatamente en un sistema de filtración de carbón activado. Dependiendo de la lámpara otros vapores y gases son capturados por otro sistema de filtración de alta eficiencia. La vida útil del carbón activado es de 120 mil tubos o medio millón de lámparas compactas, los residuos de las lámparas incluyendo el mercurio pueden ser recicladas.

Las desventajas de este método, está en que el vapor de mercurio recogido en filtros de carbón activo se constituye en un residuo peligroso a partir del cual el reciclado de mercurio es francamente difícil. Adicional los polvos fluorescentes deben ser tratados en otra instalación.

- **En Costa Rica** se desarrolló la tecnología Balcan, la cual permite reciclar lámparas y bombillas de todos los modelos, formas y tamaños, como por ejemplo, fluorescentes rectos, tubos en U, lámparas de descarga de alta intensidad, lámparas de sodio y lámparas fluorescentes compactas.

El equipo consta de cuatro secciones principales:

- El armario de mando electrónico, desde el que se controla toda la planta.
- La unidad separadora dual, en cuya primera sección se descomponen en una primera fase las lámparas introducidas y en cuya segunda se completa la separación final de los componentes.
- El filtro de eliminación de polvo, que extrae polvo hasta de 5 micras de tamaño. Este filtro garantiza asimismo que toda la planta funcione con presión negativa para que no escape polvo de vapor al entorno de trabajo.
- La unidad de filtro, modificada para que encaje en un bidón de 210 litros situado bajo a tales efectos.
- El conducto de escape de carbono activado, que se utiliza para eliminar polvo excepcionalmente fino de un tamaño inferior a 5 micras y vapor con restos de mercurio (que no se puede eliminar del aire de ninguna otra manera) antes de liberarse a la atmósfera exterior.

Durante su funcionamiento, las lámparas se introducen en el cargador hidráulico montado en la primera sección del separador dual, situada en la parte frontal. Esta sección es capaz de aceptar bidones de 210 litros de desechos, lámparas bombillas enteras o desechos introducidos directamente de cualquier otro modo. El módulo de tubos fluorescentes tritura los desechos y los introduce directamente en la unidad. Cuando está suficientemente llena y la puerta del cargador está cerrada, se eleva para vaciar su contenido en el separador. Esta operación provoca por si mismo que se reduzca aun más el tamaño de los desechos y que se levante el polvo de fósforo de tal modo que puede ser

captado por la potente unidad de filtro especialmente modificada. Antes de alcanzar el final del separador, el cristal de desecho se habrá separado del resto de los desechos y transportado a la segunda sección para eliminar el polvo restante. A continuación, se descarga en un contenedor apropiado. Los desechos restantes se recogen por separado al final de la primera sección (en un contenedor proporcionado por el cliente). Los desechos resultantes dependerán de los materiales introducidos al inicio. Si se introduce un solo tipo de lámpara, como tubos fluorescentes, se obtendrá cristal de desecho y un solo tipo de componente, como capacetes de aluminio sencillos. Sin embargo, si se introduce una mezcla de desechos compuestos por lámparas modernas, como lámparas de ahorro de energía, que contienen una alta proporción de componentes de plástico y piezas metálicas, se genera una mezcla de materiales similares, pero sin cristal, dicha mezcla deberá ser recogida por el cliente del modo que desee.

Esta tecnología llega hasta la obtención del polvo de fósforo mezclado con mercurio, el cual posteriormente es llevado a una empresa especializada que mediante el calentamiento prolongado de la mezcla, obtiene polvo de mercurio.

- **En Barcelona** existe un método patentado por Tractament I Eliminación de Residuos, S.A., el cual permite reciclar más del 99% del mercurio total contenido en los tubos fluorescentes y, si se desea, los lantánidos contenidos en los polvos fluorescentes en forma de concentrado de óxidos. No genera aguas residuales con contenidos de mercurio ni carbón activo saturado de mercurio, sino que se obtiene el mercurio en estado metálico y por tanto, reciclable.

El mercurio es obtenido en la etapa de adsorción en forma de amalgama de plata, que junto a los polvos fluorescentes, permite reciclar el mercurio mediante una simple destilación. La utilización de plata en polvo para absorber el gas de mercurio, permite una reducción del contenido de mercurio en los gases de salida del triturador de los tubos inferior a $0,050 \text{ mg/m}^3$. Los filtros de carbón

activo se utilizan únicamente como dispositivo de seguridad y su duración es prácticamente ilimitado, evitándose así la generación de un nuevo residuo de mercurio.

El proceso de tratamiento propuesto consiste en las siguientes operaciones:

-Los tubos fluorescentes son colocados en el interior de un cilindro de acero inoxidable herméticamente cerrado y triturados con rotación del reactor cilíndrico, en su interior se colocan varias bolas de acero para que trituren los tubos. El vapor de mercurio es emitido al interior del cilindro al romperse los tubos.

-Una bomba extractora de aire envía los gases del interior del cilindro a una torre de adsorción rellena de cristales de planta electrolítica, manteniendo el interior del triturador a presión inferior a la atmosférica para evitar escapes de mercurio gas durante la carga y descarga del cilindro. Una vez atravesada la torre de lavado de mercurio los gases son enviados a filtros de carbón activo que fijarán el mercurio residual, por si hay agotamiento de la columna de plata. La amalgama de mercurio y plata puede regenerarse por calentamiento de la plata a 800°C destilando el mercurio contenido y pudiendo reutilizarse la plata.

-Un cribado del sólido triturado permite separar los finos, de diámetro inferior a 1 mm, que contienen el polvo fluorescente y el mercurio metálico, de la mayor parte del vidrio y metales, que constituyen los gruesos.

-Los finos son tratados en un destilador de mercurio de retorta junto a la plata de adsorción en caso de ser necesario para recuperar el mercurio y obtener un concentrado de compuestos fluorescentes y mercurio metálico.

-El vidrio y los metales de la fracción de gruesos son separados por trituración y cribado. El vidrio puede reciclarse, así como los componentes metálicos.

El presente proceso permite, en resumen, reciclar todos los componentes de los tubos y lámparas fluorescentes, recuperando el mercurio en forma metálica, el vidrio y las sustancias fluorescentes por separado para poder ser reutilizados.

La plata utilizada como adsorbente es también reciclada, con lo que el proceso no genera ningún tipo de subproducto o residuo.

3.3. COMPARACIÓN AMBIENTAL DE METODOS

Tabla 1. Matriz de aspectos e impactos ambientales de rellenos de seguridad

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES - RECUPERACIÓN DE MERCURIO						
PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
Procesos de Apoyo	Actividades de tipo administrativo	Uso de Servicios sanitarios	Consumo de agua	Uso de agua en sanitarios y lavamanos	Agotamiento de los recursos natural	Agua
			Generación de efluentes domésticos	Vertimientos provenientes del uso de servicios sanitarios	Contaminación del agua	Agua
			Consumo de Insumos	Papel, jabones, entre otros	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de residuos no aprovechables	Residuos de papel higiénico y servilletas	Aumento de los residuos a ser dispuestos	Residuos/Suelo
			Consumo de energía	Energía en aparatos eléctricos lámparas y secadores de manos	Agotamiento de los recursos natural	recursos naturales
		Actividades de aseo	Consumo de productos químicos	Productos para aseo. Limpiadores, desinfectantes, detergentes	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales
			Consumo de Insumos	Trapos y material para limpieza	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales
			Consumo de agua	Agua para limpieza de instalaciones	Agotamiento de los recursos naturales	Agua
			Generación de efluentes domésticos	Vertimientos provenientes del uso de servicios sanitarios	Contaminación del agua	Agua
			Generación de residuos no aprovechables	Barredura	Aumento de los residuos a ser dispuestos	Residuos/Suelo

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
Procesos de Apoyo	Actividades de tipo administrativo	Elaboración de documentos	Consumo de Energía	Equipos eléctricos y electrónicos	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Consumo de insumos	Papelería	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
Procesos de Apoyo	Actividades de tipo administrativo	Elaboración de documentos	Generación de residuos no aprovechables	Papel carbón, empaques, entre otros	Aumento de los residuos a ser dispuestos	Residuos/Suelo
			Generación de residuos aprovechables	Residuos de papel, cartón, plástico, vidrio	Contaminación del suelo	Residuos
			Generación de residuos peligrosos	Tóner y cartuchos	Contaminación del suelo	Residuos
Logística	Transporte de lámparas con mercurio	Movilización de vehículos con lámparas desde el punto de generación	Consumo de combustible	ACPM usado para el transporte de las lámparas	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de emisiones	Generación de material particulado y gases de combustión	Contaminación del aire	Aire
			Generación de ruido ambiental	Ruido por el uso de los vehículos	Afectación a la comunidad	Aire
			Liberación de vapores de mercurio mezclado con argón	En condiciones de emergencia se libera el mercurio y el argón al romperse el tubo fluorescente	Contaminación del Aire, Agua, Suelo, Bioacumulación (metilmercurio)	Aire, Agua, Suelo, Fauna Acuática, Comunidad
Operaciones	Recepción y Almacenamiento	Almacenamiento de residuos	Liberación de vapores de mercurio mezclado con argón	En condiciones de emergencia se libera el mercurio y el argón al romperse el tubo fluorescente	Contaminación del Aire, Agua, Suelo, Bioacumulación (metilmercurio)	Aire, Agua, Suelo, Fauna Acuática, Comunidad
			Consumo de insumos	Cajas para almacenar las lámparas	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
Operaciones	Recepción y Almacenamiento	Almacenamiento de residuos	Consumo de estibas	Estibas de madera para almacenar las lámparas	Aumento en la demanda de recursos	Flora
		Uso de la Montacargas	Consumo de agua	Agua para refrigerar la montacargas	Aumento en la demanda de recursos	Agua
			Consumo de Energía	Para conexión de la batería de la montacargas	Aumento en la demanda de recursos	Agua
		Uso de la Montacargas	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	Aire
Recuperación del Mercurio	Desmercurización	Trituración de tubos fluorescentes	Liberación de vapores de mercurio mezclado con argón	En condiciones de emergencia se libera el mercurio y el argón al romperse el tubo fluorescente, durante la colocación en la cámara de desmercurización	Contaminación del Aire, Agua, Suelo, Bioacumulación (metilmercurio)	Aire, Agua, Suelo, Fauna Acuática, Comunidad
			Consumo de energía	Para la operación de la maquinaria de desmercurización	Agotamiento de los recursos naturales	Agua
			Consumo de nitrógeno	Para la desmercurización	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Consumo de agua	Agua para enfriamiento	Aumento en la demanda de recursos	Agua
			Reutilización del agua	Agua para enfriamiento recirculada	Aprovechamiento del recurso	Agua
			Generación de ruido ambiental	Por el uso de la cuchilla demoledora de lámparas	Afectación a la comunidad	Aire
PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO

DO						
Recuperación del Mercurio	Desmercurización	Trituración de tubos fluorescentes	Consumo de insumos	Recipientes receptores de residuos aprovechables - Tambores, Uso de carbón activado	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de residuos peligrosos	Filtros de carbón activado cuando terminan su vida útil	Contaminación del suelo	Residuos/Suelo
			Generación de residuos aprovechables	Casquillos, vidrios y polvo fluorescente, aluminio	Aumento de los residuos a ser aprovechados	Residuos/Suelo
			Generación de residuos peligrosos aprovechables	Mercurio recuperado en estado líquido	Aumento de los residuos peligrosos a ser aprovechados	Residuos/Suelo
		Almacenamiento del mercurio	Consumo de insumos	Recipientes recolectores del mercurio en forma líquida - Garrafas	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de derrame	Derrame de mercurio	Contaminación del Agua, Suelo, Bioacumulación (metilmercurio)	Agua, Suelo, Fauna Acuática, Comunidad
		Control de calidad Análisis por TCLP - Toxicidad por Lixiviación	Consumo de insumos químicos	Reactivos para pruebas (ácidos clorhídrico, nítrico y acético glacial, hidróxido de sodio, entre otros)	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Consumo de energía	Balanzas, equipos de cómputo, campana de extracción, luminarias, equipos para análisis de pH, conductividad, densidad, aparatos de agitación, filtración, recipientes de extracción	Agotamiento de los recursos naturales	Agua
			Consumo de insumos	Envases, pipetas, filtros	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
Recuperación del Mercurio	Desmercurización	Uso de elementos de protección personal	Consumo de insumos	Entrega de EPP (guantes, gafas, peto)	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de residuos peligrosos	En el cambio de EPP, se entregan los usados contaminados	Contaminación del suelo	Suelo
		Mantenimiento de infraestructura y equipos	Consumo de insumos	Aceites, lubricantes, estopas, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales
		Mantenimiento de infraestructura y equipos	Consumo de recursos	Material pétreo (arena, grava arcilla)	Agotamiento de los recursos naturales	Recursos Naturales
			Generación de ruido ambiental	Por uso de maquinarias	Afectación a la comunidad	Aire
		Mantenimiento de infraestructura y equipos	Generación de residuos especiales	Llantas, escombros	Aumento de residuos a ser dispuestos	Residuos/Suelo
		Mantenimiento de infraestructura y equipos	Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	Residuos/Suelo
			Generación de residuos aprovechables	Hierros, partes metálicas, empaques	Aumento de los residuos a ser aprovechados	Residuos/Suelo
		Mantenimiento de infraestructura y equipos	Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, thinner, grasas, aditivos, anticorrosivo, entre otros	Contaminación del suelo	Agua/Suelo
		Control de plagas	Consumo de insumos	Uso de plaguicidas	Aumento en la demanda de recursos	Recursos Naturales
			Generación de residuos peligrosos	Envases de plaguicidas	Contaminación del suelo	Suelo

Fuente: La Autora

Tabla 2. Matriz de aspectos e impactos ambientales de la destilación

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES - RELLENO DE SEGURIDAD						
PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Operación de oficinas, báscula, y vigilancia	Utilización de servicios sanitarios en baños, riegos, lavado de overoles, casino	Consumo de agua	uso de agua en sanitarios, duchas, lavadero, lava platos, entre otros usos	Agotamiento de los recursos natural	Agua
			Consumo de energía	Energía en aparatos eléctricos	Agotamiento de los recursos natural	recursos naturales
			consumo de insumos	papel, jabones, entre otros	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de efluentes domésticos	generado de actividades como sanitarios, lavaderos, lavaplatos, duchas, entre otros	Contaminación del agua	agua
			Generación de residuos peligrosos	Bombillas fluorescentes, entre otros RAEE	Aumento de los residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos no aprovechables	Residuos de acopar, envases contaminados no peligroso, entre otros	Aumento de los residuos a ser dispuestos	residuos/suelo

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Operación de oficinas, báscula, y vigilancia	Utilización de servicios sanitarios en baños, riegos, lavado de overoles, casino	Generación de residuos aprovechables	Papel, cartón, vidrio, entre otros	Aumento de los residuos a ser aprovechados	residuos/suelo
			Reutilización del agua	Agua lluvia en lavado de pisos	aprovechamiento del recurso	agua
		Utilización de equipos eléctricos y luminarias	consumo de Energía	Equipos eléctricos y electrónicos	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de residuos peligrosos	Bombillas fluorescentes, entre otros RAEE	Contaminación del suelo	residuos
		Elaboración de documentos	consumo de insumos	Papelería	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de residuos no aprovechables	Residuos papel, cartón, plástico, vidrio y ordinarios	Contaminación del suelo	residuos
			Generación de residuos peligrosos	Toners y cartuchos	Contaminación del suelo	residuos
		uso de elementos de protección personal	consumo de insumos	Entrega de EPP	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de residuos peligrosos	En el cambio de EPP, se entregan los usados contaminados	Contaminación del suelo	residuos
	Movilización de vehículos de generadores al interior de las instalaciones	Movilización de vehículos con residuos hasta el lugar de disposición, caseta de descargue temporal o zona de pre tratamiento	Generación de emisiones	Generación de material particulado y gases de combustión	Contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Movilización de vehículos de generadores al interior de las instalaciones	Movilización de vehículos con residuos hasta el lugar de disposición, caseta de descargue temporal o zona de pre tratamiento	Generación de ruido ambiental	Ruido por los vehículos y maquinaria pesada	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de derrame de sustancias	Derrame de combustibles, aceites y residuos.	Contaminación del suelo	agua/suelo
			Reacción química por incompatibilidad entre residuos (incendio, explosión, entre otras).	Al reaccionar residuos y/o insumos de forma incompatible	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
	Descargue temporal en casetas	Uso de maquinaria	consumo de insumos	Consumo de ACPM, gasolina, aceite, grasa, refrigerante y filtros.	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de emisiones	Generación de material particulado y gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Ruido por los vehículos y maquinaria pesada	Afectación a la comunidad	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
	Descargue temporal en casetas	Uso de maquinaria	Generación de residuos especiales	Llantas y neumáticos	Contaminación del suelo	residuos
			Generación de residuos peligrosos	Sólidos contaminados, aceite usado, lodos de lavado de tanques.	Contaminación del suelo	residuos
			Generación derrame de sustancias	Derrames de combustible o aceite	Contaminación del suelo	agua/suelo
Almacenamiento de residuos		Generación de residuos peligrosos	Residuos con material absorbente, sólidos contaminados y líquidos provenientes de tanques de derrames.	Contaminación del suelo	residuos	
		Generación de emisiones	Al almacenar residuo volátiles	Contaminación del aire	aire	
Descargue temporal en casetas		Generación derrame de sustancias	Derrame de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo	
		Reacción química por incompatibilidad entre residuos (incendio, explosión, entre otras).	Al almacenar residuos incompatibles	Contaminación de recursos	recursos naturales	

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
EVALUACION DE RESIDUOS	Almacenamiento de insumos para pre tratamientos	Almacenamiento de insumos	Reacción química por incompatibilidad entre residuos (incendio, explosión, entre otras).	Al almacenar residuos incompatibles	Contaminación de recursos	recursos naturales
			Generación de emisiones	Al almacenar residuo volátiles	Contaminación del aire	aire
			Generación derrame de sustancias	derrame de sustancias químicas	Contaminación del suelo	agua/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Empaques y embalajes de insumos químico, y productos caducados	Aumento de residuos a disponer	suelo
	Transporte de insumos de pre tratamiento	Uso de maquinaria	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de gases	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo

EVALUACION DE RESIDUOS	Transporte de insumos de pre tratamiento	Uso de maquinaria	Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, thinner, grasas, aditivos, anticorrosivo, entre otros	Contaminación del suelo	agua/suelo	
		transporte	Generación de derrame de sustancias	al caerse el insumo químico	Contaminación de recursos	suelo/agua	
	Solidificación	Agregar material de cobertura	Consumos de recursos		material pétreo	Aumento en la demanda de recursos	suelo
			Generación de emisiones		Material particulado	Contaminación del aire	aire
			Reducción de humedad del residuos		al realizar la mezcla con el residuo	Minimizar la generación de lixiviado	suelo/agua
			Reducción de olores y vectores		al realizar la mezcla con el residuo	Disminución de la contaminación del aire	aire
			disminución de la concentración de contaminantes en los lixiviados		con la adsorción y absorción se atrapan contaminantes para evitar su presencia en el lixiviado	disminución de la contaminación del suelo	suelo
			Reducción de la inflamabilidad de los residuos		dilución del residuos se disminuye su propiedad de inflamabilidad	disminución de la contaminación del suelo y aire	suelo/aire
			Reducción de peligrosidad		al realizarse el proceso de absorción y adsorción de contaminantes con el material de cobertura de la zona	disminución de la contaminación del suelo	suelo
			Agregar residuo líquido y/o semisólido	Generación de emisiones		vapores y gases	Contaminación del aire
	Generación de derrame de sustancias			al mover la caneca, por salpicadura	Contaminación del suelo	agua/suelo	

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO	
EVALUACION DE RESIDUOS	Solidificación	Agregar residuo líquido y/o semisólido	Infiltración de líquido libre a través del concreto o geomembrana	en el tanque de mezcla o en la celda	Contaminación del suelo	suelo	
		Uso de maquinaria al mezclar el residuo	consumo de insumos		De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones		material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental		Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de residuos especiales		Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos		Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de derrame de sustancias		Derrame de aceite, combustible, salpicadura de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo
	Estabilización	Agregar el insumo químico	consumo de insumos		cal viva, hipoclorito de sodio, reductor y precipitador de metales	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de Emisiones		material particulado, vapores y gases	Contaminación del aire	aire
			Generación de derrame de sustancias		al suministrar el insumo	Contaminación del suelo	agua/suelo

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
EVALUACION DE RESIDUOS	Estabilización	Agregar el insumo químico	reducción de olores y vectores	al agregar cal a los residuos orgánicos degradables, se disminuyen olores y vectores	disminución de la contaminación del aire	aire
			Reducción de peligrosidad	se reduce corrosividad, toxicidad, reactividad	disminución de la contaminación del suelo	suelo
			disminución de la concentración de contaminantes en los lixiviados	Al realizar los proceso de precipitación, oxidación y reducción química, se evita que los contaminantes estén presentes en el lixiviado	disminución de la contaminación del suelo	suelo
			Infiltración de lixiviado a través del concreto o geomembrana	por ruptura de geomembrana o grietas en el concreto	Contaminación del suelo	suelo
		Uso de maquinaria	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
EVALUACION DE RESIDUOS	Desecado	Uso de maquinaria	Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, combustible, salpicadura de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo
		Ubicación de los residuos en el lecho de desecado	disminución de generación de lixiviados	por la evaporación natural	disminución de líquidos libres en celda	suelo
			Generación de derrame de sustancias	al pasarte los residuos de tanque de mezcla a lechos	Contaminación del suelo	agua/suelo
			Generación de vapores	por la evaporación natural	Contaminación del aire	aire
			generación de lixiviados	liquido que se genera de lechos	Contaminación del suelo	suelo
			Infiltración de lixiviado a través del concreto o geomembrana	en el caso de ruptura de concreto	Contaminación del suelo	suelo
		Volteo semanal	Generación de Emisiones atmosféricas	vapores	Contaminación del aire	aire
		Uso de la maquinaria y transporte del residuos desecado a la celda	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO	
EVALUACION DE RESIDUOS	Desecado	Uso de la maquinaria y transporte del residuos desecado a la celda	Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo	
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo	
			Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, combustible, salpicadura de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo	
	pretratamiento macroencapsulamiento	macroencapsulamiento	consumo de insumos	cemento, canecas de polietileno de alta densidad	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales	
			Consumo de recursos	agua y material pétreo (arena y grava)	Reducción del recurso natural	recursos naturales	
			Reutilización del agua	Agua lluvia en lavado de pisos	aprovechamiento del recurso	agua	
			Generación de derrame de sustancias	al colocar los residuos dentro de la matriz de concreto	Contaminación del suelo	agua/suelo	
			Generación de emisiones	material particulado y vapores	Contaminación del aire	aire	
			Aislamiento del residuo	al generar barrera física se aísla el contaminante del medio que le rodea	disminución de la contaminación del suelo	suelo	
			Uso de la maquinaria y transporte del residuos macroencapsulado a la celda	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
				Generación de emisiones	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
				Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
EVALUACION DE RESIDUOS	pretratamiento macroencapsulamiento	Uso de la maquinaria y transporte del residuos macroencapsulado a la celda	Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, combustible, salpicadura de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo
DISPOSICION DE RESIDUOS	Disposición final de residuos en celdas de seguridad	Disposición final de residuos en celdas de seguridad	Generación de derrame de sustancias	Derrame de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo
			generación de lixiviados	Las celdas general lixiviado	Contaminación del suelo	suelo
			Emisiones atmosféricas	Generación de material particulado	Contaminación del aire	aire
			Infiltración de lixiviado a través de la geomembrana	Salida de lixiviado por caso de ruptura de geomembrana	Contaminación del suelo	suelo
			inestabilidad de taludes y terrazas	disposición de residuos de forma inestable	Contaminación del suelo	suelo
			Reacción química por incompatibilidad entre residuos (incendio, explosión, entre otras	Incompatibilidad de residuos	Contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Disposición final de residuos en celdas de seguridad	Disposición final de residuos en celdas de seguridad	Ruptura u obstrucción de las tuberías de recolección de lixiviados.	Acumulación de lixiviado dentro de la celda por la imposibilidad de su retiro.	Contaminación del aire	aire
			Ruptura u obstrucción de las tuberías de los pozos de monitoreo	Imposibilidad de verificar la presencia de contaminación del suelo.	Contaminación del aire	aire
		Uso de maquinaria	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, combustible, salpicadura de residuos	Contaminación del suelo	agua/suelo
			cobertura diaria de la celda con material de excavación	Consumo de recursos	Material pétreo	Agotamiento de recursos naturales
		Generación de emisiones		emisiones de material particulado	Contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Disposición final de residuos en celdas de seguridad Construcción y adecuación de obras menores	cobertura diaria de la celda con material de excavación	reducción de olores y vectores	Material pétreo de la zona realiza un proceso de adsorción de contaminantes	Disminución de la contaminación del aire	aire
			Reducción de la generación de lixiviados	Evitar el contacto de agua lluvia con el residuo.	Disminución de la contaminación del suelo	aire
			Incremento de la estabilidad de la celda	Generar las condiciones propicias para que los niveles de compactación en la celda sean los óptimos para su estabilidad.	Mitigación de alteración del suelo	aire
		compactación del residuo al interior de la celda	reducción del volumen del residuo	se compacta mediante maquinaria en celda	aumento de la vida útil del relleno	residuos
			Estabilidad del suelo	estabilizar talud mediante compactación	Previene la inestabilidad de suelo	suelo
			Reducción de emisiones	Reducción de la generación de material particulado.	Reducción de la contaminación atmosférica.	suelo
		colocación temporal de polietileno de baja densidad sobre la celda en época de lluvia	consumo de insumos	cubierta de polietileno de alta densidad	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Reducción de la generación de lixiviados	Al no permitir el ingreso de agua lluvia	disminución de líquidos libres en celda	suelo
			Reducción de emisiones atmosféricas.	Reducción de la generación de material particulado.	Reducción de la contaminación atmosférica.	suelo
			Reducción de olores y vectores	al ser una cubierta impermeable	disminución de la contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Disposición final de residuos en celdas de seguridad Construcción y adecuación de obras menores	adecuación de canales y zanjas perimetrales para el manejo de agua lluvia	consumo de insumos	Cemento, material pétreo y agua	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Consumo de recursos	Agua	Reducción del recurso natural	recursos naturales
			Reutilización del agua	reutilizar el agua de tanques de agua lluvia	aprovechamiento del recurso	agua
			Reducción de la generación de lixiviados	evitar ingreso de agua lluvia a celda	disminución de líquidos libres en celda	suelo
		Cerramiento en polisombra perimetral a las celdas activas	consumo de insumos	polisombra	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			reducción de olores y vectores	evitar la propagación de vectores al restringir ingreso	disminución de la contaminación del aire	aire
			Mantenimiento del paisaje y urbanismo	en la operación evita visualización directa	Mejoramiento visual	recursos naturales
		limpieza de pozo séptico y tanques de almacenamiento de agua lluvia y potable	consumo de insumos	Vactor, desinfectante	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Consumo de recursos	agua	Reducción del recurso natural	recursos naturales
			Generación de residuos especiales	lodos de pozo séptico	Contaminación del suelo	suelo
		soldaduras	Generación de residuos peligrosos	Como colillas de soldaduras, sólidos contaminado, thinner, entre otros.	Aumento de los residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			consumo de insumos	Barras de soldadura, energía, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones	Vapores metálicos de soldadura	Contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Mantenimiento	Realizar mantenimiento de maquina	consumo de insumos	De aceites, lubricantes, textiles, anticorrosivos, solventes, aditivos, entre otros	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Consumo de recursos	agua y material pétreo	Agotamiento de los recursos naturales	recursos naturales
			Generación de emisiones	material particulado y Gases de combustión	Contaminación del aire	aire
			Generación de ruido ambiental	Por la maquinaria,	Afectación a la comunidad	aire
			Generación de residuos especiales	Llantas, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, thinner, grasas, aditivos, anticorrosivo, entre otros	Contaminación del suelo	agua/suelo
			Generación de incendio	Incendio por fuente de calor cercana a la zonas donde se encuentran almacenados materiales combustibles..	Contaminación del suelo/aire	suelo/aire
			reducción en la generación de emisiones	al realizar el mantenimiento correcto, reduce la generación de gases	disminución de la contaminación del aire	aire

PROCESO RELACIONADO	ACTIVIDAD	SUBACTIVIDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	ELEMENTO ASOCIADO
DISPOSICION DE RESIDUOS	Mantenimiento	Almacenamiento de combustible	Generación de derrame de sustancias	Derrame de aceite, thinner, grasas, aditivos, anticorrosivo, entre otros	Contaminación del suelo	agua/suelo
			Generación de emisiones	vapores volátiles	Contaminación del aire	aire
			Generación de olores ofensivos	vapores volátiles	Contaminación de aire	aire
			Generación de residuos peligrosos	Aceite usado, sólidos contaminados, baterías, RAEE, entre otros	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
		Suministro de combustible	Generación de derrames de combustible	al suministrarlo a la maquina ó por fugas	Contaminación del suelo	suelo
			Generación de olores ofensivos	vapores volátiles	Contaminación de aire	aire
			Generación de residuos peligrosos	Sólidos contaminados con combustible, material absorbente contaminado	Aumento de residuos a ser dispuestos	residuos/suelo
			Generación de incendio	manipular de forma inadecuada el combustible teniendo cerca una fuente de calor	Contaminación del suelo/aire	aire
	Saneamiento básico	Control de plagas	consumo de insumos	uso de herbicidas, fertilizantes, insecticidas, fungicidas químicos	Aumento en la demanda de recursos	recursos naturales
			Generación de residuos peligrosos	uso de herbicidas, fertilizantes, insecticidas, fungicidas químicos	Contaminación del suelo	suelo

Fuente: La Autora

4. CONCLUSIONES

- Los bombillos y luminarias de vapor de mercurio constituyen una tecnología eficiente para el ahorro de energía y aún no se ha logrado encontrar un sustituto competitivo.
- Desde la perspectiva del ciclo de vida del producto es preferible utilizar una lámpara de eficiencia energética que contenga mercurio que utilizar una lámpara fluorescente común menos eficiente, que no contenga mercurio, en vista de las prácticas actuales de producción de electricidad.
- El mercurio es un metal bioacumulable, persistente y biomagnificable que ocasiona daños al medio ambiente y al ser humano con un TLV de 0,005 mg/m³ que lo ubica como uno de los materiales más tóxicos de la naturaleza; cantidades pequeñas de este material generan impactos significativos al medio ambiente.
- En Colombia se ha definido reglamentación para la gestión de los residuos procedente de las bombillas las cuales están incluidas en las disposiciones del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en donde se generan disposiciones para prevenir el manejo de residuos o desechos peligrosos y en la Resolución 1511 del 5 agosto de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial sobre la gestión de residuos de bombillos.
- Aunque la reglamentación es relativamente reciente, ya se siente presiones positivas por parte de las entidades de control para asegurar su cumplimiento; esto ha llevado a que se creen programas liderados por

empresas o gremios industriales que se unen para hacer más fácil la gestión de estos residuos.

- Existe gran cantidad de pequeños generadores (hogares) distribuidos por toda la ciudad que desconocen las características de peligrosidad de los RESPEL generados y a los cuales no les llega con facilidad la información para la recolección y disposición de residuos, que conlleva a una disposición inadecuada de residuos peligrosos (mercurio), que finalmente terminaran en rellenos sanitarios.
- Existen básicamente dos métodos de disposición de los residuos de bombillas y luminarias de vapor de mercurio como son relleno de seguridad y proceso de destilación; en el primero llega el material directamente o es sometido a un pre tratamiento a través de inyección de azufre para convertirlo en sulfuro de mercurio el cual es inerte y no tóxico; en la segunda se recupera el mercurio a través de evaporación y condensación.
- En la actualidad los residuos de bombillas y luminarias de mercurio son dispuestos en Bogotá en rellenos de seguridad con la alternativa actual de hacerlo a través de la destilación del mercurio en la empresa INNOVA localizada en la ciudad de Cali.
- El método de destilación tiene la ventaja que no genera pasivos ambientales al ser recuperado el mercurio en estado sólido y ser re aprovechable. Las trazas de mercurio que son adsorbidas por el carbón activado deben ser tratadas como RESPEL; sin embargo su duración, que depende de la tecnología empleada, es alta lo cual favorece la reducción del impacto ambiental.

- La desmercurización térmica es una alternativa al problema de disposición de estos residuos peligrosos al ser una técnica amigable hacia el medio ambiente.
- A pesar que en Colombia se ha usado por años la disposición en rellenos de seguridad, la nueva alternativa de la empresa INNOVA en Cali, abre una alternativa favorable para el medio ambiente

5. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar la relación costo-beneficio de las dos alternativas de disposición de residuos de bombillos y luminarias para que desde el punto de vista económico y ambiental se concluya cual es la mejor opción.
- Aunque es claro que desde el punto de vista ambiental es más favorable la desmercurización térmica, es importante generar este estudio para tener mayores herramientas a la hora de presentar esta alternativa a nivel empresarial.
- Desde el punto de vista ambiental es importante migrar de la disposición de relleno de seguridad a la desmercurización fomentando campañas informativas que alienten a empresarios a optar por ella. Es importante el apoyo del gobierno para dar subsidios que alienten a tomar esta decisión.
- Fortalecer los mecanismos de comunicación a empresas y usuarios residenciales de los bombillos y luminarias de vapor de mercurio a fin de incrementar la recolección de residuos a través de gestores autorizados y evitar que éstos se dispongan en rellenos sanitarios.
- Existe una tendencia de evaluar el impacto ambiental de los Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, RAEE, del cual hacen parte los bombillos y luminarias de mercurio, conforme a su volumen y no tanto frente al efecto nocivo hacia el medio ambiente; es importante evitar esta situación ya que podría ocasionar distorsión en los resultados de esta

evaluación restando impacto en las decisiones tomadas frente a la disposición de estos residuos.

- Fortalecer la cultura ambiental a través de cátedras, capacitaciones y sensibilizaciones desde los colegios, universidades, empresas e instituciones para garantizar el uso correcto de los residuos evitando la generación de impactos hacia el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

MERCURY RISK FROM FLUORESCENT LAMPS IN CHINA. Current status and future perspective. Environment International. EI-02323. Enero de 2012. 10 p.

Patente ES 2103171. "Procedimiento para el reciclado de tubos y lámparas fluorescentes con recuperación e inertización de todos sus componentes". Oficina española de patentes y Marcas. Presentada por la empresa "Tractament I Eliminación de Residuos, S.A". Avda. Eduard Maristany, s/n. 08930 Sant Adrià de Besos, Barcelona, ES.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Evaluación mundial del mercurio, PNUMA Productos Químicos, Ginebra, Suiza, Diciembre de 2002. 303 p.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE DIRECCIÓN DE PLANEACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. Estudio para la identificación de alternativas, proyectos y estrategias orientadas a la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Bogotá, Bogotá D. C. Universidad de Cundinamarca, Contrato interadministrativo 1293 de 2009, Secretaría Distrital de Ambiente, Universidad de Cundinamarca. 241 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Caracterización de las bombillas para uso interior comercializadas en Colombia. Bogotá- Colombia; Abril 28 de 2008.

Sitios WEB:

- todoproductividad.blogspot.com
- www.ecodistributors-intl.com

- crsbasilea.inti.gov.ar/.../mercurio/
- www.cfl-lamprecycling.com/es/
- <http://www.innovaambiental.com.co/galeria.htm>