

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEBIDO A LÁMPARAS
FLUORESCENTES EN DESUSO Y MÉTODOS DE
DISPOSICIÓN FINAL”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD
INDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

**MARÍA LUISA ZAPATA TORRES
LEOPOLDO H. ESCALANTE MANRIQUE**

LIMA, PERÚ

2006

DEDICATORIA

Dedicamos todo el esfuerzo realizado para culminar satisfactoriamente este trabajo, a nuestros padres, hermanos, hermanas, amigos y profesionales que de una y otra manera colaboraron con nosotros en todo momento.

A todos aquellos interesados y dedicados a preservar la salud de la población y conservar el medio ambiente, en beneficio de ésta y de futuras generaciones.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer, en general, a aquellas personas que por su incansable e incondicional ayuda hicieron posible la realización de este trabajo.

En particular, a nuestros padres Genoveva Torres, Oscar Escalante, Luz Manrique y Carmen Díaz, a nuestros hermanos Alí y Tomás, hermanas Gina, Denise, Graciela, Raquel y Tai, por su paciencia, comprensión, ayuda y compañía.

A nuestra gran amiga Zuley Lay y al señor Percy Lay por su inagotable paciencia y ayuda. A nuestro amigo Erick Colquicocha, por su apoyo en las mediciones de vapor de mercurio. A Guisella Escalante, Alejandro Sánchez, Margarita Zevallos, Jorge Neyra y Manuel Florián, por el apoyo y la información brindada.

Especiales agradecimientos a nuestro asesor de tesis, Ing. Pedro Valdivia, por sus valiosos aportes a esta investigación y por su disposición a colaborar con la culminación de este documento. A la Ing. Amparo Becerra, por el estímulo a realizar esta investigación. Por otro lado, agradecemos al Blgo. León Villegas y el Blgo. Julio Hidalgo de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, por su apoyo e importantes aportes técnicos en la realización de las pruebas de laboratorio con animales.

RESUMEN

1. MARCO TEÓRICO

Comprende la información bibliográfica recopilada respecto a las características técnicas de las lámparas fluorescentes, su funcionamiento, fabricación y principales tipos.

Por otro lado, se presenta la información correspondiente a las sustancias contenidas en una lámpara fluorescente tipo T12 de 40W, así como la información relevante de las principales sustancias químicas de una lámpara fluorescente.

Asimismo, se ha incluido dentro del marco teórico de esta investigación las normas y regulación referente a la fabricación, manejo, tratamiento y disposición final de las lámparas fluorescentes en uso y desuso, tanto nacionales como internacionales.

Finalmente, este ítem muestra los esfuerzos realizados por los fabricantes en la reducción del uso de mercurio en las lámparas fluorescentes, así como las experiencias en países como EEUU respecto al manejo, tratamiento y disposición final de lámparas fluorescentes en desuso.

2. METODOLOGÍA, MATERIALES Y RESULTADOS

Con la finalidad de alcanzar las metas propuestas en nuestros objetivos, hemos desarrollado metodologías que nos permitieron estimar la cantidad de lámparas fluorescentes (LF) que se convierten en lámparas fluorescentes en desuso (LFD) y estimar la cantidad de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004.

Para estimar el grado de contaminación en el medio ambiente y afectación a la salud por el contacto con las sustancias presentes en las LFD, se desarrollaron metodologías para estimar el grado de contaminación en aire,

suelo, y para determinar los efectos tóxicos del polvo fosfórico de las LFD por contacto en piel, a partir de pruebas en laboratorio con animales.

Asimismo, en esta investigación se desarrollaron metodologías que comprendieron la evaluación de riesgos a la salud y la evaluación de riesgos ambientales por emisión de las sustancias contenidas en las LFD.

3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL

En este ítem se analizan las experiencias sobre el manejo, tratamiento y disposición final de LFD en otros países y en el Perú. Asimismo, se destacan las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas descritas en este ítem, como son el reciclaje, disposición en rellenos sanitarios como lámparas intactas o trituradas, e incineración. Por otro lado, se incluyen los costos, disponibles en nuestro país, de transporte, tratamiento y disposición final de las LFD, en un relleno sanitario o de seguridad, ya sean intactas o trituradas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Información Técnica de las Lámparas Fluorescentes:.....	3
2.1.1. Funcionamiento de una lámpara fluorescente.....	3
2.1.2. Fabricación de una lámpara fluorescente.....	4
2.1.3. Principales tipos de Lámparas fluorescentes.	5
2.1.3.1. Modelo: T5 Recta.....	5
2.1.3.2. Modelo: T5 Circular.....	5
2.1.3.3. Modelo: T8 Recta.....	6
2.1.3.4. Modelo: T8 F4Y	6
2.1.3.5. Modelo: circular.....	6
2.1.3.6. Modelo: U Casquillo 2G13.....	7
2.1.3.7. Modelo: T2 FM miniatura casquillo W 4,3.....	7
2.1.3.8. Modelo: T12.....	7
2.1.4. Sustancias contenidas en una lámpara fluorescente tipo T12 de 40W y sus cantidades promedio.....	8
2.2. Información relevante de las principales sustancias químicas de una lámpara fluorescente:	9
2.2.1. Argón	9
2.2.1.1. Descripción General	9
2.2.2. Mercurio.....	10
2.2.2.1. Descripción General	10
2.2.2.2. Especies de mercurio y su transformación en la atmósfera	11
2.2.2.3. Especies de mercurio y su transformación en ambientes acuáticos.....	12
2.2.2.4. Especies de mercurio y su transformación en el suelo.....	14
2.2.2.5. Transporte del Mercurio.....	15
2.2.2.6. Toxicología.....	16
2.2.2.6.1. Metilmercurio.....	17
2.2.2.6.2. Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de Mercurio.....	17
2.2.2.7. Impactos del Mercurio en el Medio Ambiente.....	18
2.2.2.7.1. Bioacumulación	18

VII

2.2.2.7.2. Biomagnificación	19
2.2.2.7.3. Ecosistemas vulnerables	19
2.2.2.8. Fuentes Antropogénicas de mercurio	20
2.2.3. Polvo Fosfórico	21
2.2.3.1. Descripción General	21
2.2.3.2. Composición	22
2.2.3.3. Toxicología.....	22
2.2.3.3.1. Plomo	23
2.2.3.3.2. Estaño:	23
2.2.3.3.3. Manganeso:	23
2.2.3.3.4. Fluoruro:.....	23
2.2.3.3.5. Óxido de Aluminio (Alúmina):.....	24
2.2.3.3.6. Fósforo:.....	24
2.2.3.3.7. Ytrio:.....	24
2.2.3.3.8. Bario (forma soluble):.....	24
2.2.3.3.9. Tungsteno:	24
2.2.3.3.10. Antimonio:	24
2.3. Regulación y Legislación:	25
2.3.1. Nacional.....	25
2.3.1.1. Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.....	25
2.3.1.2. Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314.....	25
2.3.1.3. Ley que Regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, Ley N° 28256.....	29
2.3.1.4. Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.....	30
2.3.2. Internacional (USA)	30
2.3.2.1. Ley para la Recuperación y Conservación de los Recursos (RCRA), Ley para Residuos Sólidos y Peligrosos (HSWA).....	30
2.3.2.2. Regulación de Residuos Universales	32
2.3.2.3. Tratamiento, Almacenamiento y Disposición Final de Residuos Universales (40 CFR Parts 264/265).....	44
2.3.2.3.1. Requisitos Generales para los servicios de TADF.....	44
2.3.2.3.2. Preparación y prevención de emergencias.....	46
2.3.2.3.3. Declaración, Registro y Reporte:	46

2.3.2.3.4. Unidades de Disposición en Suelo (Land Disposal Units):	46
2.4. Esfuerzos en la fabricación para reducir el uso de mercurio en la lámparas fluorescentes.....	47
2.5. Experiencia de Manejo y Disposición Final de Lámparas Fluorescentes en Desuso: USA	49
2.5.1. Almacenamiento	49
2.5.2. Contenedores	49
2.5.3. Recolección y Transporte	50
2.5.4. Otras consideraciones aplicadas en USA.....	50
2.5.5. Alternativas de Disposición final	50
2.5.5.1. Disposición en Rellenos Sanitarios.....	50
2.5.5.2. Reciclaje de LFD.....	51
2.5.5.2.1. Dispositivos de Trituración de LFD “in situ”	53
2.5.5.3. Incineración de LFD (tratamiento)	55
3. OBJETIVOS	57
3.1. Objetivos generales	57
3.2. Objetivos específicos	57
4. METODOLOGÍA, MATERIALES Y RESULTADOS.....	58
4.1. Metodología para estimar la cantidad de LF que se convierten en LFD entre 1999 - 2004	58
4.1.1. Definición de variables.....	58
4.1.2. Distribución Binomial	59
4.1.3. Cálculo de la fracción de LF que se convierten en LFD entre los años 0 a 6	61
4.1.4. Cálculo de la cantidad de LF que se convierten en LFD	62
4.2. Metodología para el cálculo de la cantidad de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004	65
4.3. Metodología para estimar el grado de contaminación en aire	68
4.3.1. Materiales	69
4.3.2. Equipo.....	69
4.3.3. Procedimiento.....	70
4.3.4. Lecturas obtenidas de las mediciones.....	72
4.4. Metodología para determinar contaminación en suelo	81
4.4.1. Materiales	81
4.4.2. Procedimiento	82

4.5.	Metodología para determinar los efectos tóxicos del Polvo Fosfórico de las LFD	90
4.5.1.	Selección de la especie animal.....	90
4.5.2.	Condiciones de vivienda y alimentación.....	91
4.5.3.	Preparación de los animales.....	92
4.5.4.	Prueba	94
4.5.5.	Dosis	95
4.5.6.	Período de observación.....	95
4.5.7.	Observación Clínica y Grado de Reacción en la piel.....	96
4.5.8.	Resultados	97
4.6.	Metodología para la Evaluación de Riesgos a la Salud por exposición a sustancias contenidas en las LFD.....	98
4.7.	Metodología para la Evaluación de Riesgos Ambientales por las sustancias contenidas en las LFD	100
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL	101
5.1.	Experiencia de Disposición final de LFD en otros países y en el Perú.....	101
5.1.1.	Reciclaje	101
5.1.1.1.	Costo.....	101
5.1.1.2.	Ventaja.....	101
5.1.1.3.	Desventajas	102
5.1.2.	Disposición en Rellenos Sanitarios o de Seguridad	102
5.1.2.1.	Disposición en rellenos como LFD Intactas.....	104
5.1.2.1.1.	Ventajas	104
5.1.2.1.2.	Desventajas	104
5.1.2.2.	Disposición en rellenos como LFD Quebradas.....	105
5.1.2.2.1.	Ventajas	105
5.1.2.2.2.	Desventajas	105
5.1.3.	Incineración (tratamiento).....	107
6.	DISCUSIONES.....	108
7.	CONCLUSIONES.....	111
8.	RECOMENDACIONES	114
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
A.	ANEXOS:	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Sustancias contenidas en el Polvo Fosfórico de una LF tipo T12 de 40W	8
Tabla N° 2: Esquema General de la Regulación para el Manejo de Residuos Universales 40 CFR 273.....	33
Tabla N° 3: Contenido de mercurio en Lámparas Fluorescentes tipo T12 (miligramos/lámpara)	48
Tabla N° 4: Materiales obtenidos del reciclaje de las LFD	53
Tabla N° 5: Costo Estimado de Reciclaje de LFD Trituradas e Intactas	55
Tabla N° 6: Fracción de LF que se convierten en LFD por año	61
Tabla N° 7: Cantidad de LF tipo T12 40W ingresadas al Perú entre 1993 - 2004	63
Tabla N° 8: Cantidad de LF tipo T12 40W convertidas en LFD entre 1999 - 2004	64
Tabla N° 9 Cantidad de LFD Generadas entre 1999 y 2004	65
Tabla N° 10: Cantidad de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004	67
Tabla N° 11: Cantidad total de mercurio contenido en las LFD dispuestas entre 1999 – 2004	68
Tabla N° 12: Lecturas obtenidas lámpara Sylvania.....	72
Tabla N° 13: Lecturas obtenidas lámpara GE	73
Tabla N° 14: Lecturas obtenidas lámpara LITECH	74
Tabla N° 15: Lecturas obtenidas lámpara PHILLIPS	75
Tabla N° 16: Lecturas obtenidas lámpara ULIX	76
Tabla N° 17: Cantidad de vapor de mercurio potencialmente liberado al aire con las LFD dispuestas entre 1999 – 2004	78
Tabla N° 18: Cantidad de mercurio liberado al medio ambiente con las LFD (T12 40W) dispuestas entre 1999 – 2004	78
Tabla N° 19: Cantidad de vapor de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004	80
Tabla N° 20: Características de las muestras de suelo.....	85
Tabla N° 21: Resultados del análisis de suelo (Ver Anexo A.5).....	85
Tabla N° 22: Sustancias que incrementaron sus Concentraciones	87

Tabla N° 23: Variación de concentración de sustancias	87
Tabla N° 24: Variación de la concentración de Hg vs. profundidad	88
Tabla N° 25: Estimación de concentración en suelo	89
Tabla N° 26: Grado de Irritación Aguda	97
Tabla N° 27: Precios de disposición final de LFD's según tipo de relleno	104
Tabla N° 28: Precios de manejo y disposición final de LFD en relleno de seguridad (Ver Anexo A.8).....	105
Tabla N° 29: Precio unitario por el manejo y disposición final de LFD.....	106

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1: Equipos de Trituración de LFD “ <i>In Situ</i> ”	54
Imagen N° 2: Materiales Instalados.....	69
Imagen N° 3: Equipo medidor de vapor de Hg.....	70
Imagen N° 4: Instalación del equipo medidor de vapor en la cámara de medición	71
Imagen N° 5: Rotura de LFD dentro de la cámara de medición.....	71
Imagen N° 6: Recolección de LFD utilizadas	72
Imagen N° 7: Instalación de celdas.....	82
Imagen N° 8: LFD's quebradas en la superficie del suelo de la celda	83
Imagen N° 9: Recolección de muestras de suelo contaminado	84
Imagen N° 10: Profundidad de las muestras tomadas (10 cm.).....	84
Imagen N° 11: Condiciones de vivienda y alimentación de conejos albinos.....	91
Imagen N° 12: Conejo albino depilado y pesado antes de la prueba	92
Imagen N° 13: Conejo en cepo para la prueba	93
Imagen N° 14: Parches de gasa y esparadrapo	93
Imagen N° 15: Zonas del dorso del conejo donde se harán las pruebas de irritabilidad.....	94
Imagen N° 16: Aplicación del recubrimiento fosfórico de LFD en las zonas marcadas para la prueba	95
Imagen N° 17: Fijación de parches en las tres zonas de experimentación.....	96
Imagen N° 18: Observación de la piel después de 4 horas	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Funcionamiento de un lámpara fluorescente.....	4
Gráfico N° 2: Biotransformación del mercurio en la atmósfera	11
Gráfico N° 3: Interacción entre las especies de mercurio en la atmósfera.....	12
Gráfico N° 4: Interacciones dinámicas entre las especies de mercurio en ambientes acuáticos	13
Gráfico N° 5: Transporte y Bioacumulación del mercurio.....	16
Gráfico N° 6: Procedimiento realizado en el reciclaje de LFD.....	52
Gráfico N° 7: Distribución Binomial de la Fracción de LF que se convierte en LFD cada año	62
Gráfico N° 8: Concentración en mercurio lámpara Sylvania	73
Gráfico N° 9: Concentración en mercurio lámpara GE.....	74
Gráfico N° 10: Concentración en mercurio lámpara LITECH	75
Gráfico N° 11: Concentración en mercurio lámpara PHILLIPS	76
Gráfico N° 12: Concentración en mercurio lámpara ULIX.....	77
Gráfico N° 13: Comparación de las mediciones de concentración de vapor de mercurio de las LFD seleccionadas y de las concentraciones resultantes a partir de los valores publicados por por los fabricantes de LF	79
Gráfico N° 14: Variación de la concentración de Hg vs. profundidad.....	88
Gráfico N° 15: Gráfico de la ecuación (II).....	89

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de contar con un sistema de iluminación más eficiente y menos costoso, contribuyó a que la adquisición de lámparas fluorescentes se generalice en hogares e industrias a nivel nacional, dada su capacidad de reducir el consumo de energía eléctrica en aproximadamente 30% respecto de otros sistemas de iluminación como las lámparas incandescentes.

Como consecuencia de este mayor consumo, también se incrementó el número de lámparas fluorescentes en desuso (LFD)¹, observándose que en la práctica la mayoría de éstas son desechadas junto con los residuos domésticos en rellenos sanitarios o en botaderos a cielo abierto, contribuyendo así a la emisión de las sustancias contenidas en las LFD al medio ambiente. Cabe precisar que existen buenas prácticas, aún no generalizadas, como la disposición de las LFD en rellenos sanitarios como residuos peligrosos.

Estudios realizados por organismos internacionales como la US EPA dieron indicios de que las sustancias contenidas en las LFD, como el mercurio, se incorporan al medio ambiente contaminándolo. Dichos estudios lograron captar la atención de la población en general y de las autoridades internacionales, en cuanto a los posibles daños a la salud y al medio ambiente que podría causar la emisión de mercurio y demás sustancias contenidas en las LFD.

Consecuentemente, se han realizado esfuerzos por reducir el contenido de mercurio al mínimo posible, ya que hasta donde la ciencia ha llegado, no existe otro compuesto sustituto que reemplace su función en la generación de luz en las lámparas fluorescentes. No obstante, a pesar de estos esfuerzos, se sabe que la cantidad actual de mercurio que contiene una lámpara fluorescente es suficiente como para contaminar un volumen de 21 000 litros de agua².

¹ El término Lámparas fluorescentes en desuso incluye además de las lámparas fluorescentes convencionales, a las lámparas fluorescentes compactas comúnmente conocidas como "Focos Ahorradores".

² Considerando que el LMP de Hg en agua es de 0.001 mg/l y que una LFD puede contener 21 mg de Hg.

Por otro lado, existen antecedentes a nivel internacional en los que se han probado los beneficios que se obtienen al someter las LFD a un proceso de reciclaje. Entre éstos se destaca el haber logrado reducir el costo de la materia prima que se obtiene a partir de las LFD. Asimismo, se ha contribuido con la generación de nuevos puestos de trabajo, además del beneficio implícito que se obtiene al reducir las cantidades de mercurio emitidas al medio ambiente.

En contraste con nuestro país, a la fecha no se han realizado estudios relacionados a los riesgos que implica el disponer las LFD en rellenos sanitarios como residuos domésticos o simplemente en botaderos a cielo abierto sin ningún tipo de control.

Bajo estas circunstancias, esta investigación busca dar a conocer el por qué una LFD es un residuo peligroso, cómo contamina al medio ambiente y cuál sería las alternativa de disposición final técnica, ambiental y económicamente más adecuada en nuestro país.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Información Técnica de las Lámparas Fluorescentes:

2.1.1. Funcionamiento de una lámpara fluorescente

Una lámpara fluorescente consiste en un tubo de vidrio sellado por dos electrodos ubicados en cada extremo. Interiormente, una lámpara fluorescente contiene vapor de mercurio y argón a baja presión. El tubo de vidrio está recubierto por una fina capa de sustancias minerales fluorescentes.

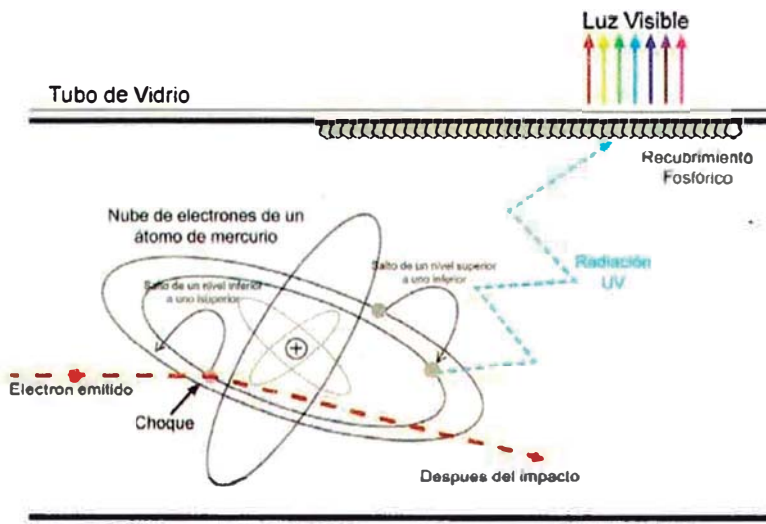
Al aplicar energía eléctrica entre los electrodos de la lámpara fluorescente se produce una descarga eléctrica que genera una emisión de electrones entre ellos, los electrones desprendidos de los electrodos chocan con los electrones de los átomos del vapor de mercurio desorbitándolos y elevándolos a un nivel de energía superior. Posteriormente, el electrón desorbitado retorna a su órbita inicial liberando radiación ultravioleta, la cual atraviesa el recubrimiento fosfórico y se transforma en luz visible.

Cabe mencionar que la interacción de electrones en el interior de la lámpara produce una pequeña cantidad de luz visible (4% de toda la energía radiante) y que la mayor parte (96%) se emite en forma de radiación ultravioleta. Por otro lado, sólo el 42% de la radiación ultravioleta se transforma en luz visible. Así, se deduce que el 44% de la radiación de una lámpara fluorescente es luz visible³.

El color de la luz que emita una lámpara fluorescente dependerá de la composición del revestimiento fosfórico, es decir, si en este recubrimiento se usa, por ejemplo, antimonio la tendencia del espectro luminoso se inclinará hacia las radiaciones azules, contrario a lo que sucede al utilizar manganeso, con el que se inclinará a un espectro de luz más cálida. Por otro lado, en aquellas lámparas que contienen clorofosfatos, cuanto mayor sea la cantidad de cloro mayor será tendencia del espectro luminoso hacia el color rojo.

³ "Lámparas Eléctricas", Ediciones CEAC S.A., Barcelona – España, 1º Edición, julio 1974.

Gráfico N° 1: Funcionamiento de un lámpara fluorescente



Fuente: Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo 4ta Edición – Volumen II – Parte VI Riesgos Generales. Capítulo 46 Iluminación, Tipos de Lámparas e Iluminación. Ginebra 1998.

2.1.2. Fabricación de una lámpara fluorescente.

El vidrio utilizado en las lámparas fluorescentes es similar al que se usa en las lámparas incandescentes, que puede ser vidrio de cal o vidrio plumboso.

El recubrimiento fosfórico está conformado por halofosfatos que son mezclas de clorofosfato de calcio y fluorofosfato de calcio que se activan con manganeso o antimonio. Este recubrimiento se mezcla con un aglomerante y quedan en suspensión en una mezcla orgánica o en una mezcla de agua y amoníaco. De esta manera, el recubrimiento es aplicado en el interior del tubo. Aplicado este recubrimiento, se seca en el tubo y se lo calienta a altas temperaturas para eliminar el aglomerante.

Posteriormente, se introduce el mercurio como vapor en la lámpara fluorescente, este procedimiento puede ser realizado de dos maneras. Una de ellas consiste en colocar la lámpara fluorescente en posición vertical, luego se cierra el extremo inferior con un electrodo, se vierte el mercurio por la parte superior, se introduce el argón a baja presión y se cierra el otro

extremo con otro electrodo. En la segunda forma, se coloca la lámpara fluorescente en posición horizontal, el vapor de mercurio se introduce por uno de los extremos mientras que por el otro se hace vacío, se ingresa el argón y se sellan los extremos de la lámpara con los electrodos.

2.1.3. Principales tipos de Lámparas fluorescentes.

2.1.3.1. Modelo: T5 Recta

Descripción General	
Potencia (W)	6 – 13 - 14
Flujo Luminoso (lm)	600, 1200 - 1350
Índice de reproducción cromática (IRC)	80 - 89
Vida útil (horas)	2500 – 5000 / 18000 - 24000
Peso (Kg) - 20 unidades	1,471
Dimensiones	
Diámetro (mm)	16
Longitud (mm)	517 / 549

Fuente: <http://catalog.myosram.com>



2.1.3.2. Modelo: T5 Circular


Descripción General	
Potencia (W)	22
Flujo Luminoso (lm)	1800
Índice de reproducción cromática (IRC)	80 - 89
Vida útil (horas)	10000 - 16000
Peso (Kg) - 20 unidades	2,170
Dimensiones	
Diámetro (mm)	16
Diámetro lámpara (mm)	225

Fuente: <http://catalog.myosram.com>




2.1.3.3. Modelo: T8 Recta


Descripción General	
Potencia (W)	18 – 36 – 58
Flujo Luminoso (lm)	1200
Índice de reproducción cromática (IRC)	80 - 89
Vida útil (horas)	18000 - 20000
Peso (Kg) - 20 unidades	2,815
Dimensiones	
Diámetro (mm)	26
Longitud (mm)	590 - 1200 - 1500


Fuente: <http://catalog.myosram.com>**2.1.3.4. Modelo: T8 F4Y**

Descripción General	
Potencia (W)	36 - 58
Flujo Luminoso (lm)	3200
Índice de reproducción cromática (IRC)	80- 89
Vida útil (horas)	45000
Peso (Kg) - 20 unidades	5,535
Dimensiones	
Diámetro (mm)	26
Longitud (mm)	1200



Fuente: <http://catalog.myosram.com>**2.1.3.5. Modelo: circular**

Descripción General	
Potencia (W)	32
Flujo Luminoso (lm)	2050
Índice de reproducción cromática (IRC)	80 - 89
Vida útil (horas)	8000 - 10000
Peso (Kg) - 20 unidades	3,3
Dimensiones	
Diámetro (mm)	30
Diámetro lámpara (mm)	307


Fuente: <http://catalog.myosram.com>

2.1.3.6. Modelo: U Casquillo 2G13


Descripción General	
Potencia (W)	18 – 36 - 58
Flujo Luminoso (lm)	2400
Índice de reproducción cromática (IRC)	2A
Vida útil (horas)	4000 - 5000
Peso (Kg) - 20 unidades	4,310
Dimensiones	
Diámetro (mm)	26
Longitud lámpara (mm)	601



Fuente: <http://catalog.myosram.com>

2.1.3.7. Modelo: T2 FM miniatura casquillo W 4,3


Descripción General	
Potencia (W)	6 – 8 – 11 - 13 W
Flujo Luminoso (lm)	620
Índice de reproducción cromática (IRC)	2A
Vida útil (horas)	6000 - 8000
Peso (Kg) - 20 unidades	0,456
Dimensiones	
Diámetro (mm)	7
Longitud lámpara (mm)	421.6



Fuente: <http://catalog.myosram.com>

2.1.3.8. Modelo: T12

Descripción General	
Potencia (W)	20 – 40 - 65
Flujo Luminoso (lm)	1150 – 2800 - 4000
Índice de reproducción cromática (IRC)	60 – 69 / 2B
Vida útil (horas)	10500 - 20000
Peso (Kg) - 25 unidades	4,59 / 8,55
Dimensiones	
Diámetro (mm)	38
Longitud lámpara (mm)	590 – 1200 – 1500



Fuente: <http://catalog.myosram.com>

Con la finalidad de desarrollar las metodologías para estimar el nivel de contaminación, debido a la inadecuada disposición de LFD, en esta investigación se utilizará la información técnica específica de las lámparas

fluorescentes tipo T12 de 40W de 4 pies de longitud, por ser este modelo el más comercial del mercado⁴.

2.1.4. Sustancias contenidas en una lámpara fluorescente tipo T12 de 40W y sus cantidades promedio.

Una lámpara fluorescente contiene las siguientes sustancias químicas:

- **Argón;** en ningún estudio ni fichas técnicas se indica esta cantidad.
- **Mercurio;** aún cuando esta cantidad depende del año de fabricación y del fabricante, en promedio una lámpara fluorescente T12 contiene 21 mg de mercurio por lámpara.
- **Polvo fosfórico;** en el siguiente cuadro se muestran los elementos químicos que contiene, por lo general, el recubrimiento fosfórico de una lámpara fluorescente T12 y sus cantidades promedio:

Tabla N° 1: Sustancias contenidas en el Polvo Fosfórico de una LF tipo T12 de 40W⁵

Elemento	% por Peso de lámpara
Flúor	0.1
Manganeso	0.1
Estaño	0.1
Itrio	0.1
Bario	< 0.1
Tungsteno	< 0.1
Estroncio	0.1
Magnesio	0.1
Calcio	0.1
Antimonio	0.1
Zinc	0.1
Europio	0.1
Cesio	0.1

⁴ Tomado de Programa de Iluminación Eficiente IFC/GEF, *Evaluación de Mercado de Iluminación – Informe Final*. Lima, marzo del 2000.

⁵ Tomado de la Hoja de Seguridad de una lámpara fluorescente T12 (<http://www.sylvania.com/AboutUs/EnergyAndEnvironment/Products/Ecologic/ProductSafetyDataSheets/>)

Elemento	% por Peso de lámpara
Terbio	0.1
Aluminio	0.1
Fósforo	<0.1

2.2. Información relevante de las principales sustancias químicas de una lámpara fluorescente:

En esta sección se presentará la principal información de las sustancias contenidas en una lámpara fluorescente, éstas son: Argón, Mercurio y Polvo Fosfórico.

No se considerará al vidrio ni a los terminales de aluminio por tratarse de materiales que no representan un riesgo significativo para la salud, en comparación con las sustancias antes mencionadas, como tales.

2.2.1. Argón

2.2.1.1. Descripción General

El argón es un gas noble que se encuentra en pequeñas cantidades en la atmósfera, es de naturaleza inerte por lo que no forma compuestos con otras sustancias químicas. El argón es utilizado en la industria de la iluminación, para agregar presión y evitar que se quemen los filamentos de las lámparas que lo utilizan.

No se conocen daños a la salud debido al contacto con Argón. Sin embargo se deben tomar en cuenta ciertas precauciones para evitar explosiones de sus contenedores ya sea por altas temperaturas o fallas de los mismos. Por otro lado, la exposición a altas concentraciones de argón podría causar asfixia debido a un posible desplazamiento del aire y disminución de la concentración de oxígeno en el ambiente.

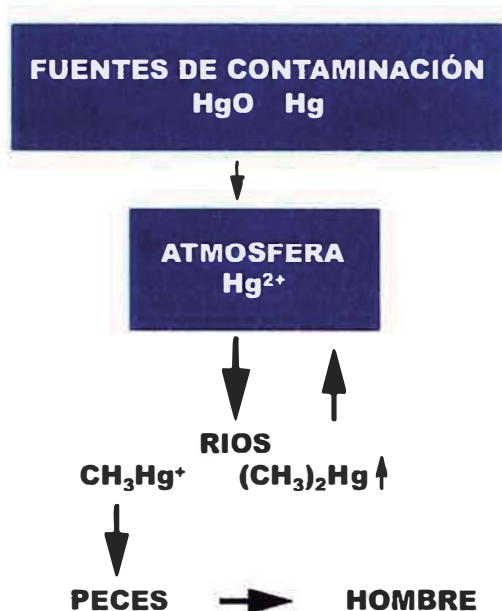
2.2.2. Mercurio

2.2.2.1. Descripción General

De forma natural el mercurio se encuentra en el medio ambiente, al igual que otros metales pesados que conforman la Tierra. Se le conoce como mercurio “elemental” o mercurio “metálico” cuando se presenta en forma pura ($\text{Hg}(0)$ o Hg_0), aunque raramente se le encuentra en esas condiciones, es decir como metal líquido.

El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, y si no está encapsulado, se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio, que son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores se emanarán del mercurio metálico líquido.

Con mayor frecuencia se suelen encontrar los compuestos y sales orgánicas e inorgánicas de mercurio, muchos de estos compuestos se forman a partir del mercurio divalente (Hg^{2+} o $\text{Hg}_{(II)}$), pero también puede enlazarse como mercurio monovalente ($\text{Hg}_{(I)}$). Algunas sales de mercurio, como HgCl_2 , son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de los gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su deposición desde 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.

Gráfico N° 2: Biotransformación del mercurio en la atmósfera

Fuente: Ecotoxicología y Acción Toxicológica del Mercurio. Antonio L. Doadrio Villarejo. Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia. 01-Sep-2005

2.2.2.2. Especies de mercurio y su transformación en la atmósfera

La química atmosférica del mercurio involucra varias interacciones:

- Reacciones de la fase gaseosa.
- Reacciones de la fase acuosa (en nubes, neblinas y pequeñas partículas de aerosol).
- Interfases entre el mercurio elemental y especies oxidadas de mercurio entre la fase gaseosa y sólida.
- Interfase entre la fase acuosa y gaseosa.
- Interfase entre la fase sólida y acuosa.

La interacción entre los procesos atmosféricos del mercurio y la química del mercurio se resume en el Gráfico N° 3. La especie en la que se encuentre el mercurio en la atmósfera (especiación) juega un papel importante en el transporte de largo alcance del mercurio, así como en los mecanismos de deposición.

Gráfico N° 3: Interacción entre las especies de mercurio en la atmósfera⁶



2.2.2.3. Especies de mercurio y su transformación en ambientes acuáticos

A pesar de la incertidumbre concerniente al ciclo global de mercurio, se sabe que éste involucra casi exclusivamente a las formas inorgánicas. Estas formas no se acumulan en la cadena alimenticia humana, excepto en especies como los hongos comestibles (Minagawa, 1980). El primer paso crucial para el proceso de bioacumulación acuática es el cambio de mercurio inorgánico a la forma metalizada. Este proceso se lleva a cabo mayormente en sedimentos de ríos y mares, aunque también en cuerpos de agua dulce y mares (Lindberg, 1987).

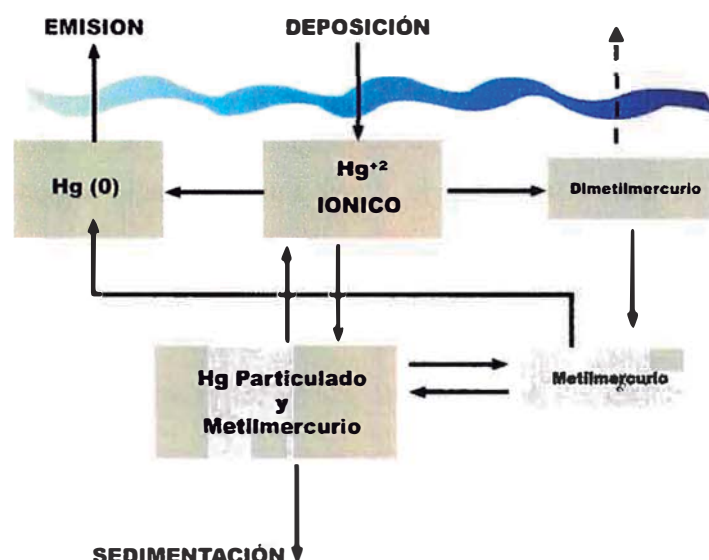
Hoy en día se tienen mayores conocimientos sobre el mecanismo de síntesis de los compuestos del metilmercurio (CH_3Hg^+ y $(CH_3)_2Hg$). La metilación se produce en el medio ambiente como consecuencia del metabolismo microbiológico (procesos bióticos), pero

⁶ Adaptado del documento "Global Mercury Assessment" – United Nations Environment Project (UNEP)

también como consecuencia de procesos que no involucran microorganismos vivos (procesos abióticos). La formación de metilmercurio en sistemas acuáticos se ve influenciada por una gran variedad de factores ambientales, entre los cuales se destacan la eficiencia microbiológica de la metilación del mercurio, la actividad microbiana y la disponibilidad de mercurio.

Las principales reacciones del mercurio en ambientes acuáticos se muestran en la siguiente figura:

Gráfico N° 4: Interacciones dinámicas entre las especies de mercurio en ambientes acuáticos⁷



Además del metilmercurio, en los sistemas acuáticos también se forma dimetilmercurio gracias a ciertas bacterias, predominantemente aerobias, que realizan el proceso de demetilación del mercurio. Esta forma orgánica de mercurio es volátil, por lo que pasa nuevamente a la atmósfera desde los ambientes acuáticos.

⁷ Adaptado del documento "Global Mercury Assessment" – United Nations Environment Project (UNEP)

2.2.2.4. Especies de mercurio y su transformación en el suelo

Las condiciones que existen en los ambientes terrestres son típicamente favorables para la formación de compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio. La mayor cantidad del mercurio que se encuentra en el suelo se encuentra como compuestos orgánicos, los cuales son susceptibles de pasar a ambientes acuáticos al ser arrastrados por corrientes de agua.

Como se puede observar, en el medio ambiente se presentan varias formas de mercurio, el cual por la acción de ciertos microorganismos y el desarrollo de procesos naturales puede pasar de una a otra forma. Así, el mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas de mercurio, lo que abre una importante vía para la sedimentación del mercurio elemental que llegue a ser liberado. Asimismo, el mercurio elemental también puede transformarse en compuestos orgánicos u organomercuriales, gracias a los procesos bióticos, entre éstos el más común es el metilmercurio, compuesto de particular importancia debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas que los circundan.

Aunque no se conocen fuentes antropogénicas directas de metilmercurio, de forma indirecta las liberaciones antropogénicas de mercurio elemental contribuyen al incremento de los niveles de metilmercurio en el medio ambiente por su transformación a partir de otras especies⁸.

Por tratarse de un elemento, el mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el mercurio elemental, y como tal no puede ser descompuesto ni

⁸ Global Mercury Assessment – UNEP – PNUMA, 2002

degradado en sustancias menos nocivas. Una vez liberado, tanto el mercurio metálico como sus sales se acumulan creando graves problemas de contaminación ambiental.

2.2.2.5. Transporte del Mercurio

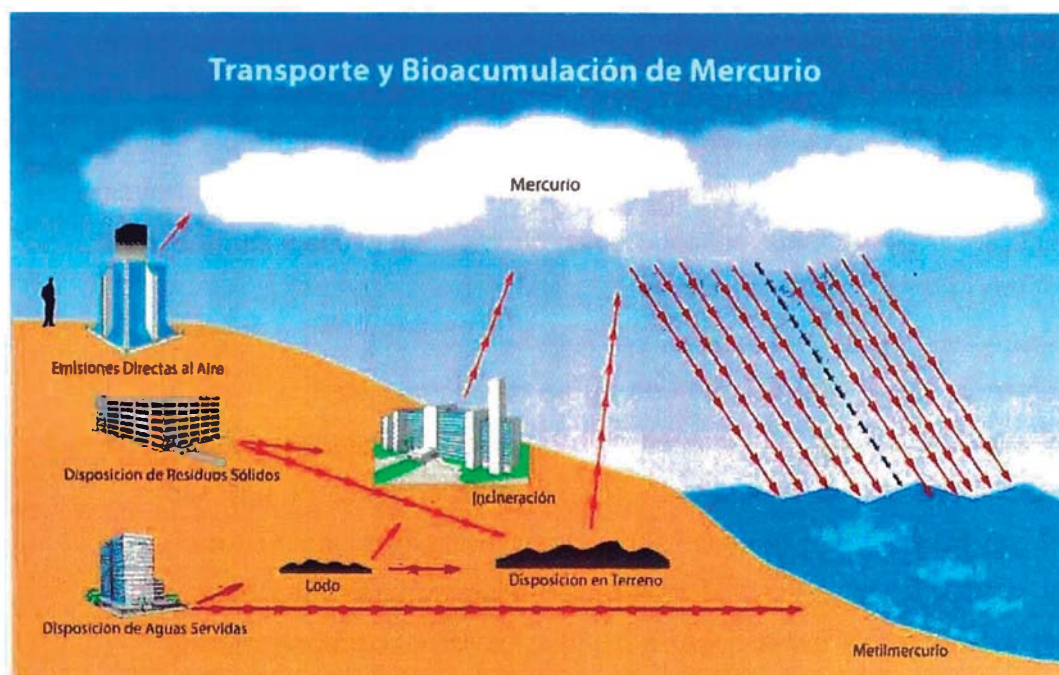
El mercurio ingresa al medio ambiente de diversas maneras. Por ejemplo, si una lámpara fluorescente es arrojada a un tacho de basura y se quiebra, el vapor de mercurio es liberado a la atmósfera en ese preciso momento. En caso el contenido de ese tacho de basura sea dispuesto en un relleno sanitario, como residuo doméstico, el mercurio contenido en el polvo fosfórico puede ser desprendido a la atmósfera al liberar los vapores y el lixiviado que se generan en los rellenos sanitarios. En caso estos residuos sean incinerados, igualmente el mercurio será liberado.

Cuando el mercurio ingresa al sistema de alcantarillado y a partir de éste llega a una planta de tratamiento, el mercurio se concentrará en los lodos que se generan como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales que lo transportaron. Una vez adherido a estos lodos, el mercurio tendrá el potencial para volatilizarse y depositarse en cualquier otro lugar, así como ingresar al ambiente terrestre, considerando que una de las prácticas de las plantas de tratamiento es disponer de estos lodos esparciéndolos sobre el terreno.

El mercurio puede ingresar a la atmósfera debido a su facilidad para evaporarse, y encontrándose en este estado puede viajar a través de ella e ingresar a otros ambientes como el suelo y el agua.

Como ya se indicó, una vez que el mercurio es depositado en un cuerpo de agua, parte del mercurio se convierte en metilmercurio gracias al metabolismo microbiológico. Esta es la forma de mercurio que ingieren las personas y algunos animales cuando consumen pescado. El metilmercurio es particularmente peligroso debido a su capacidad de bioacumularse en el medio ambiente.

Gráfico N° 5: Transporte y Bioacumulación del mercurio



Fuente: Mercury Use: Contractors & Construction, Draft Wisconsin Mercury Sourcebook: Contractors. May 1997. (<http://www.epa.gov/glnpo/bnsdocs/hgsbook/contract.pdf>)

Mientras el mercurio en forma de mercurio iónico (divalente) se deposita, sobre todo, en el suelo y el agua cercanos a las fuentes (distancias locales a regionales), el vapor de mercurio elemental emitido, entre otras fuentes, desde las lámparas fluorescentes en desuso quebradas, se transporta a escala global, lo que hace de las emisiones de mercurio una preocupación de alcance mundial.

2.2.2.6. Toxicología

La toxicidad del mercurio depende de la forma química en la que se encuentre y, por lo tanto, los signos y síntomas varían según la especie de mercurio a la que se haya sido expuesto (mercurio elemental, mercurio inorgánico o mercurio orgánico). Las fuentes de exposición también varían de acuerdo a la forma de mercurio. Así, la fuente de exposición más importante de los compuestos orgánicos del mercurio (principalmente del metilmercurio) es la dieta, particularmente la dieta basada en el consumo de pescado y otros productos marinos que se hayan desarrollado en ambientes contaminados con mercurio. En

cambio, la fuente de exposición más significativa en el caso del vapor de mercurio elemental son las emisiones de este elemento a partir de productos que lo contienen, como las lámparas fluorescentes, entre otros, así como la exposición en el ambiente de trabajo. En cuanto a los compuestos inorgánicos de mercurio, la fuente de exposición, para la mayoría de las personas está constituida por los alimentos, productos de aseo, cremas y el uso de mercurio con propósitos culturales.

2.2.2.6.1. Metilmercurio

Este compuesto es un neurotóxico que puede provocar efectos perjudiciales en el sistema nervioso del cuerpo humano, lo que puede desencadenar en una disminución de las habilidades para caminar, hablar, ver y escuchar. Debido a la facilidad con la que el metilmercurio puede atravesar la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, también puede afectar seriamente a un cerebro en formación, de ahí la preocupación que existe en la exposición al mercurio durante el embarazo. Asimismo, algunos estudios⁹ indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular e incluso causar la muerte. Adicionalmente, la International Agency for Research on Cancer (IARC), de acuerdo a los estudios que ha realizado, considera que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinogénicos para los seres humanos.

2.2.2.6.2. Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de Mercurio

El mercurio es una sustancia altamente tóxica que puede evaporarse fácilmente y causar efectos agudos y crónicos en quienes son expuestos a estos vapores. La principal vía de exposición al mercurio elemental es por la inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados es absorbido por los tejidos pulmonares, causando una severa irritación respiratoria. Estos vapores también pueden atravesar la barrera

⁹ IOMC – “Inter – Organization Programme for the Sound Management of Chemicals”.

hematoencefálica con mucha facilidad y provocar daños en el sistema nervioso central como trastornos neurológicos y de comportamiento. En cambio, la absorción intestinal del mercurio elemental es baja. Adicionalmente, esta especie de mercurio puede oxidarse a mercurio iónico divalente en los tejidos corporales.

Entre los principales síntomas que se pueden presentar en las personas que han inhalado vapor de mercurio elemental se encuentran los temblores, debilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza. También se pueden presentar daños en los riñones (conducto renal) y la tiroides. Y en caso de altas exposiciones puede ocasionar hasta la muerte. Por otro lado, las exposiciones agudas a mercurio inorgánico pueden causar trastornos gastrointestinales y afectar los riñones.

Aún cuando la mayoría de estos efectos pueden ser reversibles, las exposiciones continuas de las personas a estas especies de mercurio hacen que sus consecuencias persistan en la población.

2.2.2.7. Impactos del Mercurio en el Medio Ambiente

2.2.2.7.1. Bioacumulación

La bioacumulación del mercurio en el medio ambiente se refiere a la acumulación de este metal pesado (proveniente de fuentes bióticas o abióticas), en un organismo.

Precisamente esta capacidad del mercurio constituye un factor importante de los efectos de su emisión al medio ambiente. Hasta cierto punto, todas las especies de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido, pero por lo general, en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio.

2.2.2.7.2. Biomagnificación

Este término se refiere a la acumulación progresiva del mercurio y sus compuestos, de uno a otro nivel trófico sucesivo. La biomagnificación del mercurio es el factor que más incide en los efectos para los seres humanos y también para los animales.

A diferencia de otros compuestos de mercurio, el metilmercurio se elimina muy lentamente del organismo de los peces y otras especies marinas. En exposiciones ambientales constantes, las concentraciones de mercurio en peces, tienden a incrementarse con la edad y el tamaño, debido a que éstos se van alimentando cada vez con más peces y más grandes. Los peces más pequeños y no depredadores son los que presentan las concentraciones más bajas de mercurio, pero conforme se asciende en la cadena alimenticia estas concentraciones pueden aumentar considerablemente.

2.2.2.7.3. Ecosistemas vulnerables

Diversos estudios¹⁰ han determinado que el mercurio puede ocasionar una reducción de la actividad microbiológica vital para la cadena alimentaria terrestre.

A nivel mundial, recientemente la región del Ártico ha atraído la atención debido a las altas concentraciones de mercurio que se han detectado en su ecosistema, como consecuencia del transporte a largas distancias del mercurio. Sin embargo, existen otros ecosistemas y comunidades humanas de muchas partes del mundo que se ven afectadas por su dependencia a una fuente de alimentación contaminada por mercurio, sobre todo en lugares en los que el pescado es la principal fuente de alimentación, como los pueblos costeros y de la amazonía del Perú¹¹.

¹⁰ IOMC – "Inter – Organization Programme for the Sound Management of Chemicals".

¹¹ Global Mercury Assessment – UNEP – PNUMA, 2002

2.2.2.8. Fuentes Antropogénicas de mercurio

Existen dos categorías de liberaciones antropogénicas de mercurio:

- Liberaciones antropogénicas debido a las movilizaciones de impurezas de mercurio en materia prima como combustibles fósiles y otros minerales extraídos, tratados y reciclados.
- Liberaciones antropogénicas generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, también incluye las liberaciones durante la producción, por fugas, en la eliminación o incineración de productos de desecho, entre otras.

Debido a los objetivos de esta investigación, en este documento sólo se hará referencia a esta segunda categoría.

A lo largo de muchos años, las liberaciones antropogénicas de mercurio, utilizado intencionalmente en productos y procesos, han logrado acumular gran parte del mercurio que ahora está presente en la atmósfera y constituye la fuente que más mercurio contribuye al medio ambiente.

A su vez, la mayoría de las liberaciones antropogénicas atmosféricas son emitidas como vapor de mercurio elemental, el cual, como ya se indicó, puede desplazarse a largas distancias con las masas de aire. Las emisiones de mercurio atmosféricas restantes están constituidas por compuestos divalentes gaseosos.

Además de las liberaciones ya mencionadas, se deben considerar las importantes cantidades de mercurio que también se emiten en un relleno sanitario, al disponer los productos que contienen este metal pesado, como residuos domésticos.

La mayor parte del mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos es incinerado o dispuesto en un relleno sanitario como residuo doméstico. En muchas partes del mundo los productos que contienen mercurio son incinerados de manera informal, es decir, sin ningún mecanismo de control, con lo que el mercurio se libera directamente al ambiente, o es dispuesto en botaderos a cielo abierto sin ningún control de la contaminación del suelo y del agua superficial y subterránea. De esta manera, una parte significativa del mercurio contenido en productos se libera al medio ambiente directa y rápidamente¹².

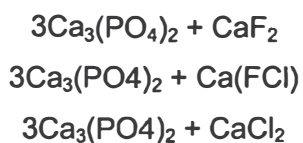
2.2.3. Polvo Fosfórico

2.2.3.1. Descripción General

El recubrimiento fosfórico de una lámpara fluorescente, está conformado por sustancias foto luminiscentes constituidas por silicatos, boratos, tungstatos y últimamente tierras raras, las cuales transforman la radiación ultravioleta en luz visible con determinadas longitudes de onda¹³.

Los recubrimientos a base de silicato de berilio fueron usados hasta 1950, año en que fueron reemplazados por los llamados halofosfatos de calcio, que básicamente son mezclas de clorofosfatos de calcio o fluofosfatos de calcio, que pueden ser activados con manganeso o antimonio.

Los halofosfatos de calcio tienen la siguiente fórmula¹⁴:



¹² Global Mercury Assessment – UNEP – PNUMA, 2002.

¹³ Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo – Capítulo 81: “Lámparas Eléctricas”. OIT, 1998.

¹⁴ “Lámparas Eléctricas”, Ediciones CEAC S.A., Barcelona – España, 1° Edición, julio 1974.

En los últimos años los revestimientos fosfóricos han sido fabricados a partir de tierras raras, entre los que están el itrio, el lantano y otros. Este tipo de revestimientos fosfóricos suelen tener un espectro de emisión de banda estrecha y se utilizan combinados para reproducir las distintas tonalidades de luz, por lo común uno rojo, uno azul y uno verde.

2.2.3.2. Composición¹⁵

La composición del recubrimiento fosfórico de una lámpara fluorescente dependerá del tipo de luz que ésta emita. Sin embargo, por lo general el polvo fosfórico está compuesto por las siguientes sustancias:

- | | |
|-------------|-------------|
| - Flúor | - Calcio |
| - Manganeso | - Antimonio |
| - Estaño | - Zinc |
| - Itrio | - Europio |
| - Bario | - Cesio |
| - Tungsteno | - Terbio |
| - Estroncio | - Aluminio |
| - Magnesio | - Fósforo |

2.2.3.3. Toxicología¹⁶

De acuerdo a la búsqueda bibliográfica que se ha realizado, no se ha encontrado información sobre estudios que hayan tenido como objetivo determinar la toxicología del recubrimiento fosfórico, como un todo, de una lámpara fluorescente, por lo que ésto ha sido constituido como un objetivo para esta investigación.

Sin embargo, de acuerdo a la información toxicológica de cada una de las sustancias contenidas en las LF, además del mercurio, se tiene lo siguiente:

¹⁵ Ver Tabla N° 1

¹⁶ Tomado de la Hoja de Seguridad de una lámpara fluorescente T12 (<http://www.sylvania.com/AboutUs/EnergyAndEnvironment/Products/Ecologic/ProductSafetyDataSheets/>)

2.2.3.3.1. Plomo

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: debilidad, cansancio, insomnio, anorexia, pérdida de peso, desnutrición, estreñimiento, dolor abdominal, cólicos, anemia, temblores, parálisis en muñecas y tobillos, encefalopatía, afecciones en los riñones, irritación de los ojos, hipotensión, entre otros.

2.2.3.3.2. Estaño:

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: irritación en los ojos, en la piel y en el sistema respiratorio.

2.2.3.3.3. Manganeso:

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: Parkinson, insomnio, confusiones mentales, fiebre, sequedad de garganta, tos, presiones en el pecho, disnea, dolores de espalda, vómitos, malestar, fatiga y daños en los riñones, entre otros.

2.2.3.3.4. Fluoruro:

Esta sustancia puede causar irritación en los ojos y en el tracto respiratorio. La ingestión de fluoruro puede causar un sabor salado o jabonoso, vómitos, dolores abdominales, diarreas, dificultad en la respiración y en el habla, sed, pulso débil, problemas para distinguir los colores, debilidad muscular, convulsiones, pérdida de la conciencia y muerte. También pueden presentarse heridas en los riñones y sangrados en el estómago. Exposiciones repetidas pueden provocar la calcificación excesiva de los huesos y ligamentos de vértebras, pelvis y columna, como consecuencia se puede presentar rigidez y limitaciones en la movilidad. Cuando la piel es expuesta en forma prolongada al fluoruro se pueden presentar erupciones.

2.2.3.3.5. Óxido de Aluminio (Alúmina):

La Alúmina es un material no tóxico. Sin embargo, en pequeñas partículas puede causar irritación en los ojos, en la piel y en el sistema respiratorio.

2.2.3.3.6. Fósforo:

El polvo de fósforo es considerado fisiológicamente inerte.

2.2.3.3.7. Ytrio:

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: irritación en los ojos, pulmones y posibles daños en el hígado.

2.2.3.3.8. Bario (forma soluble):

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: irritación en los ojos, en la piel y en el sistema respiratorio superior, quemaduras en la piel, gastroenteritis, espasmos musculares, pulso lento, extrasístole, hipokalemia.

2.2.3.3.9. Tungsteno:

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: irritación de ojos y del sistema respiratorio, fibrosis pulmonar, pérdida de apetito, náuseas, tos y alteración en la composición sanguínea.

2.2.3.3.10. Antimonio:

El contacto, ingestión o inhalación de este elemento puede causar uno o más de los siguientes síntomas: irritación de ojos, piel, nariz, garganta y boca, tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, diarrea, cólicos estomacales, insomnio, anorexia y anosmia.

2.3. Regulación y Legislación:

2.3.1. Nacional

2.3.1.1. Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos

En relación a los residuos sólidos peligrosos, en esta Ley se señala lo siguiente:

Capítulo II: Disposiciones para el manejo de residuos sólidos peligrosos;

En el Artículo 22°, se define a los residuos sólidos peligrosos como aquellos que representan un riesgo significativo para la salud o el medio ambiente, debido a sus características o la forma en la que van a ser manejados. Bajo este criterio, un residuo sólido será peligroso cuando presente al menos una de las siguientes características: inflamabilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad.

Asimismo, en el Artículo 24° se señala que los envases o depósitos que hayan sido utilizados para almacenar o comercializar sustancias o residuos peligrosos también serán considerados residuos peligrosos. Por lo tanto, deberán ser manejados como tales, a menos que sean sometidos a un tratamiento que elimine sus características de peligrosidad.

2.3.1.2. Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314

En relación a los residuos sólidos peligrosos, en este Reglamento se señala lo siguiente:

Título II: Autoridades Competentes;

En el Artículo 7° se establece que entre las autoridades sectoriales, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tiene a su cargo la regulación del transporte de los residuos peligrosos.

En cambio, las autoridades municipales, de acuerdo al Artículo 8º, tanto provinciales como distritales, son responsables por la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de aquellos similares a éstos originados por otras actividades.

En sus incisos j) y k) se establece que a las municipalidades provinciales les corresponde autorizar y fiscalizar las rutas de transporte de los residuos sólidos peligrosos en su jurisdicción, así como sancionar a los generadores y transportistas que conduzcan los residuos peligrosos por vías locales.

Título III: Manejo de Residuos Sólidos;

En el Artículo 10º del Capítulo I se hace referencia a las obligaciones que tiene el generador de residuos antes de entregarlos a una Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS) o Empresa Comercializadora de Residuos Sólidos (EC-RS). Al respecto, señala que los generadores están obligados a almacenar adecuadamente, en términos sanitarios y ambientales, los residuos antes de entregarlos a las EPS o municipalidades para su manejo y disposición final. Mientras que en el Artículo 17º se prohíbe la quema artesanal o improvisada de residuos sólidos.

En el Artículo 22º, se señala que el manejo de los residuos sólidos peligrosos de origen doméstico y comercial, es decir, los residuos sólidos generados en el ámbito de gestión municipal, serán regulados por la municipalidad provincial correspondiente y que éstas implementarán campañas de recojo de estos residuos de manera sanitaria y ambientalmente segura.

En cambio, en el Artículo 25º se obliga a los generadores de residuos sólidos peligrosos del ámbito de gestión no municipal, a manejarlos en forma separada al resto de los residuos que genere, es decir, almacenarlos, tratarlos y disponerlos de forma segura.

La calificación de residuo peligroso, de acuerdo al Artículo 27º, será declarada por el Ministerio de Salud en coordinación con el sector competente, a aquellos residuos que no hayan sido ya clasificados como tales y reúnan las características de un residuo peligroso.

En el Artículo 32º se establece como deber del poseedor o generador de residuos peligrosos, el adoptar las medidas necesarias para reducir o eliminar las condiciones de peligrosidad de su manejo.

Los aspectos relacionados al almacenamiento de los residuos peligrosos se describen en los Artículos 38º y 39º de la **Sección I**. En el primero se establecen las características generales que deben cumplir los recipientes que contengan a los residuos peligrosos como las relacionadas con sus dimensiones, forma y material, rotulado y distribución. En tanto, en el segundo se prohíbe el almacenamiento de los residuos peligrosos en lugares no apropiados para su adecuado manejo, ni en cantidades que superen la capacidad de los depósitos destinados para este fin. Asimismo, también se prohíbe su permanencia por más de cinco (05) días en infraestructuras de tratamiento.

Adicionalmente, en los Artículos 40º y 41º, de esta misma sección, se señalan las características de las instalaciones en las que se almacenan los residuos peligrosos dentro del área en la que fueron generados, así como las condiciones en las que se debe llevar a cabo su almacenamiento.

En el Artículo 42º de la **Sección II** se señala que el transporte de residuos peligrosos debe ser registrado en un documento llamado Manifiesto de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos, también se establece la forma en que este registro debe ser manejado por el generador, la EPS que transporte los residuos y la autoridad competente del sector correspondiente.

Por otro lado, el Artículo 45º se refiere específicamente a los vehículos utilizados para el transporte de residuos peligrosos, señalando

que estos sólo deben ser empleados para tal fin y que se prohíbe el transporte de estos residuos por vía postal y como equipaje. En el artículo siguiente (Art. 46°) se establecen las obligaciones que tiene la EPS de recolección y transporte de residuos en general y también las características que deben presentar los vehículos que sean usados para transportar residuos peligrosos. Las empresas comercializadoras de residuos sólidos que estén autorizadas para realizar estas operaciones, también deberán cumplir con estos requerimientos.

En la **Sección III**, Artículo 48°, referida a los aspectos del tratamiento de residuos, se indica que la incineración debe ser considerada como la última alternativa a seleccionar en proyectos de tratamiento de residuos sólidos.

Respecto a la disposición final, en el Artículo 51° de la **Sección IV**, se señala que también se pueden utilizar otros métodos, siempre y cuando estén debidamente aprobados por la autoridad de salud competente.

Por su parte, en el Artículo 52° se establecen los procedimientos mínimos que deben ser realizados en un relleno sanitario, como el control y registro de los residuos, su acondicionamiento, ubicación y forma de confinamiento, así como del tiempo máximo que pueden permanecer los residuos hasta ser confinados.

Título V: Infraestructura de Residuos Sólidos;

En los Artículos 86° y 88° del Capítulo IV, referido a la infraestructura de disposición final, se establecen las instalaciones mínimas y complementarias que deben existir en un relleno de seguridad (para residuos peligrosos), así como los requisitos que deben cumplir los métodos de disposición final de residuos peligrosos.

Adicionalmente, en el Anexo 4, Lista A: Residuos Peligrosos, se define como residuos peligrosos, de conformidad con la Resolución Legislativa N° 26234, Convenio de Basilea, a aquellos residuos que

tengan como constituyentes o contaminantes al mercurio o compuestos de mercurio, entre otros. Evidentemente, las lámparas fluorescentes en desuso encajan dentro de esta definición.

2.3.1.3. Ley que Regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, Ley N° 28256

El Artículo 3° de esta Ley define como materiales y residuos peligrosos, a las sustancias, elementos, insumos, productos y subproductos, o sus mezclas, en estado sólido, líquido y gaseoso, que por sus características físicas, químicas, toxicológicas, de explosividad o que por su carácter de ilícito, representan riesgos para la salud de las personas, el medio ambiente y la propiedad.

Con respecto a la competencia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Artículo 5° se establecen sus obligaciones, entre las que se pueden mencionar de manera general: mantener un Registro Único actualizado de los vehículos de transporte terrestre que sean usados para transportar materiales y/o residuos peligrosos, disponer la expedición de licencias de conducir de categoría especial para aquellos conductores que se dediquen a esta labor, mantener actualizado el Registro Nacional de Conductores con este tipo de licencia especial, verificar que las EPS de transporte cuenten con las respectivas pólizas de seguro, verificar que todos los conductores que transporten materiales y/o residuos peligrosos estén autorizados para realizar este trabajo, así también autorizar y fiscalizar el traslado de materiales y/o residuos peligrosos, determinar si las EPS de transporte están obligadas a controlar el mantenimiento preventivo y correctivo de sus unidades y disponer que estos vehículos sean cubiertos con tolvas herméticamente cerradas, cuando lo considere necesario, con la finalidad de evitar la contaminación del medio ambiente.

Por su parte, al Ministerio de Salud, de acuerdo al Artículo 6°, le corresponde regular los aspectos técnicos – sanitarios del embalaje, carga, transporte y descarga de los materiales y/o residuos peligrosos, y

que los generadores y transportistas cumplan con las normas vigentes respectivas. Cuando no se realice un manejo adecuado de los materiales y/o residuos peligrosos, el MINSA podrá declarar las zonas afectadas en estado de emergencia sanitaria y ambiental, así como disponer el levantamiento de esta medida.

Las vías alteras a ser utilizadas para el tránsito de los vehículos que transportan materiales y/o residuos peligrosos, serán señaladas por las municipalidades provinciales correspondientes.

2.3.1.4. Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental

En el Artículo 6° del Título Primero se señala que el diseño, formulación y aplicación de las políticas ambientales nacionales deben asegurar el cumplimiento de:

- La prevención y el control de la contaminación ambiental, principalmente en las fuentes emisoras. Los costos de la prevención, vigilancia, recuperación y compensación del deterioro ambiental corren a cargo del causante del perjuicio.
- La promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción y comercialización más limpias, incentivando el uso de las mejores tecnologías disponibles desde el punto de vista ambiental.

2.3.2. Internacional (USA)

2.3.2.1. Ley para la Recuperación y Conservación de los Recursos (RCRA), Ley para Residuos Sólidos y Peligrosos (HSWA)

Dentro de la sección 3001 de la ley para la Recuperación y Conservación de los Recursos (Resource Conservation And Recovery Act, RCRA), se definía cuándo un residuo sólido era peligroso. Esto se realizaba, a partir de las características que definían a cada residuo o de

acuerdo a una lista de residuos peligrosos ya establecida. Posteriormente, en una modificación de esta Ley, en el año 1980 la EPA estableció la prueba EPCT (Extraction Procedure Toxicity Characteristic) para determinar la toxicidad de un residuo, la cual regulaba 8 metales, 4 insecticidas y 2 herbicidas. En el año 1984, la EPA emitió la Ley de Residuos Sólidos y Peligrosos (Hazardous and Solid Waste Amendments, HSWA) y luego, en 1990 la EPA adhirió esta Ley a la RCRA y, como consecuencia se reemplazó a la prueba EPCT por el Procedimiento para Determinar las Características de Lixiviación (Toxicity Characteristics Leaching Procedure TCLP).

Este protocolo de medición (TCLP), desarrollado por la EPA, es utilizado para determinar el potencial de lixiviación de un residuo específico en un relleno sanitario. Los productos que contienen una o más de las sustancias tóxicas identificadas por la EPA, son manejados utilizando el procedimiento TCLP para estimar la cantidad de sus componentes tóxicos que puedan liberarse en el lixiviado de un relleno sanitario bajo condiciones normales.

El procedimiento TCLP para LFD consiste en los siguientes pasos:

Las LFD son trituradas en piezas pequeñas para asegurar que todas las sustancias potencialmente peligrosas lixivien en esta prueba.

Las lámparas trituradas son puestas en un contenedor para luego añadirle una solución de ácido acético (pH = 5) para representar las condiciones típicas de un relleno sanitario.

El contenedor cerrado se agita por un período de 18 horas a 30 revoluciones por minuto.

El fluido extraído del contenedor es filtrado y el mercurio disuelto en el fluido es medido.

El límite máximo de mercurio en el fluido extraído del contenedor debe ser de 0.2 mg/l para que una LFD sea clasificada como residuo no peligroso.

Si la LFD falla el TCLP, se le considerará como residuo peligroso.

2.3.2.2. Regulación de Residuos Universales

Bajo el subtítulo C de la ley RCRA, la EPA promulgó la regulación para el sistema nacional de manejo de residuos peligrosos, el cual define cuándo un material se convierte en residuo y si éste es peligroso. Esta regulación incluye requerimientos para la generación, transporte, transferencia, almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. En mayo de 1995 la EPA estableció la regulación para el manejo de aquellos residuos peligrosos que tienen las siguientes características:

Generados en una gran variedad de lugares y no sólo en industrias.

Generados por la comunidad entera.

Presentes de manera significativa en los sistemas de manejo de residuos no peligrosos, aún cuando sí lo son.

En julio del año 1999, la EPA incluyó a las lámparas eléctricas, considerando las lámparas fluorescentes, dentro de la regulación de Residuos Universales 40 CFR 273, debido a que muchas eran calificadas como residuos peligrosos porque no pasaban la prueba TCLP y porque son generadas en grandes cantidades y por diversos generadores.

Tabla N° 2: Esquema General de la Regulación para el Manejo de Residuos Universales 40 CFR 273

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
Prohibiciones (Prohibitions)	<p>Un Operador de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales está:</p> <p>(a) Prohibido de disponer los residuos universales; y</p> <p>(b) Prohibido de reducir o tratar residuos universales, excepto como respuesta a emergencias.</p>	<p>Un Operador de Grandes Cantidades de Residuos Universales está:</p> <p>(a) Prohibido de disponer los residuos universales; y</p> <p>(b) Prohibido de reducir o tratar residuos universales, excepto como respuesta a emergencias.</p>	<p>Un transportista de residuos universales está:</p> <p>(a) Prohibido de disponer de residuos universales; y</p> <p>(b) Prohibido de reducir o tratar residuos universales, excepto como respuesta a emergencias.</p>
Comunicaciones (Notifications)	No están obligados a reportar a la EPA sus actividades de manejo de residuos universales.	(a)(1) Debe enviar notificaciones escritas sobre el manejo de residuos universales a la autoridad regional y recibir un número de Identificación de la EPA antes de tener o exceder los 5000 Kg. de residuos universales almacenados.	(172) Rombo de Materiales Peligrosos, provisiones especiales, Sistema de comunicación durante el transporte, planes de emergencia y entrenamiento del personal. (173) Transporte —

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
		<p>Excepción:</p> <p>(2) No requiere re-notificar a la EPA si éste ya tiene un número de identificación por el manejo de residuos Peligrosos.</p> <p>(b) La notificación debe incluir:</p> <p>(1) Nombre y dirección del operador;</p> <p>(2) Nombre y teléfono de contacto de la persona ubicada en el lugar de operación quien debería ser contactada para dar información sobre las actividades del operador.</p> <p>(3) La dirección o ubicación física donde se manejan los residuos universales.</p> <p>(4) Una lista de los residuos manejados por el operador (ej. lámparas)</p> <p>(5) Una declaración indicando</p>	<p>requerimientos generales para la carga y empaquetado</p> <p>(174) Transporte por tren</p> <p>(175) Transporte aéreo</p> <p>(176) Transporte buque</p> <p>(177) Transporte Carretera</p> <p>(178) Especificaciones de empaquetado</p> <p>(179) Especificaciones de los vehículos</p> <p>(180) Continua calificación del transporte y empaquetado.</p>

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
		que el operador acumula más de 5000 Kg. de residuos universales.	
Requisitos para el manejo de Residuos (Waste Management Requirements)	No están obligados a reportar a la EPA sus actividades de manejo de residuos universales.	<p>Deben manejar las lámparas de tal manera que se prevea cualquier liberación al medio ambiente:</p> <p>(1) Deben almacenar las lámparas en contenedores que sean estructuralmente adecuados para prevenir la trituración y no debe mostrar evidencia de daño, deterioro, fuga o incompatibilidad con las lámparas.</p> <p>(2) Debe limpiar inmediatamente y colocar en contenedores cualquier lámpara que muestre evidencia de rotura, fuga o daño que pudiera causar la liberación de mercurio al</p>	<p>(a) Debe cumplir con la reglamentación aplicable por el Departamento de Transporte (DOT) 49 CFR parte 171 hasta 180 y para el transporte de cualquier residuo universal que cumpla con la definición de residuo peligroso de la reglamentación 49 CFR 171.8.</p> <p>Para los propósitos del DOT, un residuo es considerado peligroso si éste presenta las características especificadas en 40 CFR parte 262. Porque un residuo universal no es considerado residuo</p>

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
		medio ambiente. Los contenedores deben tener las características descritas en el punto (1).	peligroso bajo la regulación de la DOT. (b) Algunos residuos universales son reconocidos como residuos peligrosos por la DOT porque ellos cumplen con al menos uno de los criterios de identificación de residuo peligroso del reglamento 49 CFR 173.2. Debido a que un cargamento de residuos universales no requiere de un manifiesto bajo la norma 40 CFR 262, ellos pueden no ser descritos por el DOT como residuos peligrosos.
Etiquetado (Labelling / Marking)	(a) Cada contenedor de LFD debe estar claramente etiquetado o marcado con	(a) Cada contenedor de LFD debe estar claramente etiquetado o marcado con	

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	cualquiera de las siguientes frases: "Universal Waste—Lamp(s)," o "Waste Lamp(s)," o "Used Lamp(s)".	cualquiera de las siguientes frases: "Universal Waste—Lamp(s)," o "Waste Lamp(s)," o "Used Lamp(s)".	
Periodo Máximo de Almacenaje (Storage Time limits)	(a) Puede almacenar residuos universales por un tiempo no mayor a un (01) año contado desde la fecha que el residuo universal ha sido generado o recibido por otro operador. (b) Puede acumular residuos universales por más de un (01) año si dicha actividad es sólo para propósitos de acumulación o dichas cantidades de residuos universales son necesarios para facilitar el adecuado tratamiento, recuperación o disposición. Sin embargo, el operador asumirá la responsabilidad por esta actividad.	(a) Puede almacenar residuos universales por un tiempo no mayor a un (01) año contado desde la fecha que el residuo universal ha sido generado o recibido por otro operador. (b) Puede acumular residuos universales por más de un (01) año si dicha actividad es sólo para propósitos de acumulación o dichas cantidades de residuos universales son necesarios para facilitar el adecuado tratamiento, recuperación o disposición. Sin embargo, el operador asumirá la responsabilidad por esta actividad.	(a) Puede almacenar residuos universales en una estación de transferencia como máximo 10 días. b) Si almacenan residuos universales por más de 10 días se convertiría en un operador de residuos universales, debiendo cumplir con la reglamentación exigida a un operador de residuos universales.

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	(c) Deberá ser capaz de demostrar en todo momento que los residuos universales han sido acumulados desde la fecha en que se convirtieron en residuos o fueron recibidos.	(c) Deberá ser capaz de demostrar en todo momento que los residuos universales han sido acumulados desde la fecha en que se convirtieron en residuos o fueron recibidos.	
Entrenamiento de los Empleados (Employee Training)	Deberá brindar información a los empleados que manejen o que tengan la responsabilidad de manejar residuos universales, sobre el manejo y los procedimientos de emergencia apropiados.	Debe asegurarse que todos sus empleados estén completamente familiarizados con el procedimiento y manejo adecuados, relativo a sus responsabilidades durante el normal manejo de los residuos y en casos de emergencias.	
Respuesta a emergencias (Response to Releases)	(a) Deberá incluir los procedimientos para la contención de posibles emisiones de residuos universales. (b) Determinará si cualquier material resultado de una	(a) Deberá incluir los procedimientos para la contención de posibles emisiones de residuos universales. (b) Determinará si cualquier material resultado de una	(a) Deberá incluir los procedimientos para la contención de posibles emisiones de residuos universales. (b) Determinará si cualquier material

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	<p>contención o limpieza de emisiones, es un residuo universal. Además manejará el residuo universal conforme a todos lo requerimientos aplicables.</p>	<p>contención o limpieza de emisiones, es un residuo universal. Además manejará el residuo universal conforme a todos lo requerimientos aplicables.</p>	<p>resultado de una contención o limpieza de emisiones, es un residuo universal. Si determina que un residuo es peligroso, lo dispondrá conforme a todos lo requerimientos aplicables.</p>
<p>Cargamentos (Off-Site Shipments)</p>	<p>(a) Está prohibido enviar o llevar residuos universales a otros lugares distintos al operador de residuos universales, servicios de disposición o disposición fuera del país. (b) Podrá transportar residuos sólo para operaciones propias y cumplirá los requerimientos de transporte. (c) Si el residuo universal debe ser transportado a otro operador debe cumplir con las disposiciones para el transporte, y deberá marcar o etiquetar el</p>	<p>(a) Está prohibido enviar o llevar residuos universales a otros lugares distintos al operador de residuos universales, servicios de disposición o disposición fuera del país. (b) Podrá transportar residuos solo para operaciones propias y cumplirá los requerimientos de transporte. (c) Si el residuo universal debe ser transportado a otro operador debe cumplir con las disposiciones para el transporte, y deberá marcar o etiquetar el</p>	<p>(a) Está prohibido enviar o llevar residuos universales a otros lugares distintos al operador de residuos universales, servicios de disposición o disposición fuera del país. (b) Si un cargamento de residuos universales es transportado, debe hacerlo bajo la regulación del Departamento de transporte 49 CFR 171.8, el cargamento debe ser claramente descrito en una</p>

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	<p>residuo de acuerdo a lo establecido en el numeral 273.14.</p> <p>(d) Antes de enviar un cargamento de residuo universal a otro operador, el operador inicial deberá asegurarse de que el operador que lo reciba esté de acuerdo con el cargamento.</p> <p>(e) Si envía un cargamento de residuos universales a otro operador o a disposición final y el cargamento es rechazado por el operador, el operador inicial debe:</p> <p>(1) Recibir el cargamento cuando ha sido notificado que el cargamento fue rechazado, o</p> <p>(2) Acordar con el operador receptor un lugar para la disposición donde dicho cargamento será enviado.</p>	<p>residuo de acuerdo a lo establecido en el numeral 273.14.</p> <p>(d) Antes de enviar un cargamento de residuo universal a otro operador, el operador inicial deberá asegurarse de que el operador que lo reciba este de acuerdo con el cargamento.</p> <p>(e) Si envía un cargamento de residuos universales a otro operador o a disposición final y el cargamento es rechazado por el operador, el operador inicial debe:</p> <p>(1) Recibir el cargamento cuando ha sido notificado que el cargamento fue rechazado, o</p> <p>(2) Acordar con el operador receptor un lugar para la disposición donde dicho cargamento será enviado.</p>	<p>hoja de transporte de acuerdo a la 49 CFR Part 172.</p>

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	<p>(f) Puede rechazar un cargamento de residuos universales en su totalidad o porción, que ha recibido de otro operador. Si el operador rechaza un cargamento, deberá ponerse en contacto con el otro operador y notificar el motivo del rechazo y discutir un reenvío del cargamento. El operador que rechaza el cargamento debe:</p> <p>(1) Enviar el cargamento al operador inicial, o (2) Si ambos están de acuerdo, enviar el cargamento a un lugar de disposición final.</p> <p>(g) Si recibe un cargamento que contiene residuos peligrosos que no son residuos universales, el operador deberá notificarlo a la EPA y dará el nombre, dirección y teléfono del</p>	<p>(f) Puede rechazar un cargamento de residuos universales en totalidad o porción, que ha recibido de otro operador. Si el operador rechaza un cargamento, deberá ponerse en contacto con el otro operador y notificar el motivo del rechazo y discutir un reenvío del cargamento. El operador que rechaza el cargamento debe:</p> <p>(1) Enviar el cargamento al operador inicial, o (2) Si ambos están de acuerdo, enviar el cargamento a un lugar de disposición final.</p> <p>(g) Si recibe un cargamento que contiene residuos peligrosos que no son residuos universales, el operador deberá notificarlo a la EPA y dará el nombre, dirección y teléfono del operador</p>	

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
	<p>operador inicial. La EPA proveerá la información para el manejo de los residuos peligrosos.</p> <p>(h) Si recibe un cargamento con residuos que no son peligrosos y no son residuos universales, el operador podrá disponerlos de acuerdo con la regulación vigente para residuos sólidos no peligrosos.</p>	<p>inicial. La EPA proveerá la información para el manejo de los residuos peligrosos.</p> <p>(h) Si recibe un cargamento con residuos que no son peligrosos y no son residuos universales, el operador podrá disponerlos de acuerdo con la regulación vigente para residuos sólidos no peligrosos.</p>	
Seguimiento (Tracking)	<p>No están obligados a tener registros de los cargamentos de residuos universales que envía o recibe.</p>	<p>Debe mantener un registro de cada cargamento recibido de otro operador o enviado para disposición, el registro puede ser un documento escrito, hablado u otro documento de recepción de cada cargamento y debe incluir la siguiente información:</p> <p>(1) Nombre y dirección del operador original del residuo universal o cargamento del</p>	

Participantes del sistema de Residuos Universales Requerimientos de Residuos Universales	Operadores de Pequeñas Cantidades de Residuos Universales (Small Quantity Handlers of Universal Waste)	Operadores de Grandes Cantidades de Residuos Universales (Large Quantity Handlers of Universal Waste)	Transportistas de Residuos Universales (Universal Waste Transporters)
		residuo universal de donde fue enviado. (2) La cantidad y tipo de residuo universal recibido. (3) Fecha de recepción del cargamento del residuo universal.	

2.3.2.3. Tratamiento, Almacenamiento y Disposición Final de Residuos Universales (40 CFR Parts 264/265)

Inicialmente, la RCRA exigió a la EPA el desarrollo de estándares para el tratamiento, almacenamiento y disposición final (TADF) de residuos peligrosos, incluidos los residuos universales. Es así que la EPA promulgó los dispositivos 40 CFR partes 264 y 265 como estándares para el tratamiento, almacenamiento y disposición final de residuos peligrosos. El estándar 264, está destinado a regular los servicios de TADF que se crearían a partir de la promulgación de estos estándares, y el estándar 265 está destinado a aquellos servicios de TADF ya existentes. La diferencia entre estos estándares radica en que el estándar 264 es más exigente que el 265, debido a que este último exceptúa y limita las exigencias a los servicios de TADF existentes, dado que algunas exigencias podrían resultar imprácticas de aplicar o implementar.

2.3.2.3.1. Requisitos Generales para los servicios de TADF

Número de Id: Todo servicio de TADF deberá obtener un número de identificación asignado por la EPA.

Análisis de Residuos: Los servicios de TADF deben verificar la composición química del residuo (constituyentes peligrosos y características físicas y químicas) antes de someterlo a almacenamiento, tratamiento y disposición final. El Plan de Análisis Químico de los residuos peligrosos debe incluir los parámetros de análisis, los métodos de muestreo y todo lo necesario para asegurar el adecuado TADF. El análisis del residuo deberá ser repetido periódicamente para asegurar que la información esté siempre actualizada.

Seguridad: Las previsiones de seguridad están dirigidas a prevenir y reducir la posibilidad de que personas no autorizadas o animales ingresen a las instalaciones de los servicios de TADF. Estas previsiones deben incluir sistemas de vigilancia o

cercos perimétricos y señalización en los ingresos a las instalaciones de los servicios de TADF.

- **Inspección:** La inspección de las instalaciones de los servicios de TADF están destinadas a la identificación del mal funcionamiento, deterioro, errores de operación y posibles fugas. Recomienda el uso de formatos de inspección para el registro de las mismas.

- **Entrenamiento del Personal:** Los estándares exigen que el personal de los servicios de TADF deben completar un entrenamiento teórico de 6 meses y empezar a laborar bajo supervisión hasta terminar el entrenamiento, además deberán ser evaluados anualmente. Se deberán tener procedimientos escritos y los nombres de los empleados por puesto de trabajo y mantener estos registros hasta por tres años.

- **Requisitos para la inflamabilidad, reactividad e incompatibilidad:** Debe tenerse especial cuidado para el manejo de residuos con características de inflamabilidad, reactividad e incompatibilidad. Los residuos inflamables y reactivos deben mantenerse alejados de fuentes de ignición y ubicarse en áreas separadas.

- **Requisitos de Ubicación:** Estas exigencias están contempladas dentro del estándar 264 y exigen la ubicación de las instalaciones de nuevos servicios de TADF en lugares no sensibles a sismos y terremotos.

- **Calidad de las instalaciones:** Exige la implementación de un programa de aseguramiento de la calidad de las instalaciones, el cual permita conocer todos los criterios de diseño durante la construcción, y sea certificada por un profesional antes de su puesta en funcionamiento.

2.3.2.3.2. Preparación y prevención de emergencias

Estos requisitos están orientados a reducir y prevenir cualquier situación de emergencia dentro de las instalaciones de los servicios de TADF. Los servicios de TADF deberán reducir las posibilidades de incendio, explosión o cualquier tipo de emisión al aire, suelo y agua de forma repentina o no, de residuos peligrosos o sus constituyentes. Los estándares exigen la disposición de equipos de emergencias (equipos para lucha contra incendios, sistemas de comunicación, etc.), alarmas, espacios aislados y contacto con autoridades (incluido policía local, bomberos, hospitales y otros).

2.3.2.3.3. Declaración, Registro y Reporte:

Los requisitos de los estándares 264/265, están diseñados para el seguimiento de residuos peligrosos desde su generación hasta la disposición final (from cradle to grave). El seguimiento de los residuos peligrosos se realiza a través del sistema de declaración de cargamentos, se solicitan registros de operación y reportes bianuales, los cuales resumen las actividades de los servicios de TADF en el tiempo.

2.3.2.3.4. Unidades de Disposición en Suelo (Land Disposal Units):

Los estándares 264/265 tienen como propósito la minimización de la contaminación que pudiera generarse por la disposición de residuos peligrosos en las siguientes unidades de disposición en suelo, tales como:

Estanques de Tratamiento (Surface impoundments):

Definidos como depresiones naturales o excavaciones usadas para el almacenamiento o tratamiento temporal de residuos peligrosos líquidos. Estas unidades deben considerar un doble tapizado de la superficie del terreno, doble sistema de recolección y drenaje de lixiviados y el monitoreo de la calidad

del agua subterránea, además de controles para la emisión y dispersión de los residuos por acción del viento.

- **Apilamiento de Residuos (Waste Piles):** Son usados sólo para el almacenamiento o tratamiento temporal de residuos peligrosos, deben considerar doble tapizado de la superficie del terreno, doble sistema de recolección y drenaje de lixiviados, además de controles para la emisión y dispersión de los residuos por acción del viento.

- **Relleno Sanitario (Landfills):** Son excavaciones diseñadas para el enterramiento de residuos sólidos como disposición final, deben asentarse sobre terreno de baja permeabilidad, poseer doble tapizado de la superficie del terreno, doble sistema de recolección y drenaje de lixiviados, además de un sistema de detección de fugas. Adicionalmente, deben poseer controles para la emisión y dispersión de los residuos por acción del viento.

- **Unidades de Tratamiento sobre suelo (Land Treatment Units):** Usados para el tratamiento de residuos peligrosos por acción microbiana o luz solar. Los residuos son ubicados en la superficie del suelo para degradar, transformar o eliminar los constituyentes peligrosos a través de procesos físicos, químicos y biológicos. No requieren tapizar la superficie del suelo ni sistemas de recolección de drenaje de lixiviados.

2.4. Esfuerzos en la fabricación para reducir el uso de mercurio en las lámparas fluorescentes

Frente a las restricciones que ha impuesto la EPA, a los fabricantes de LF en Estados Unidos para reducir la contaminación por mercurio en el medio ambiente, éstos se han visto obligados a desarrollar y poner en marcha nuevas tecnologías que permitan obtener LF con un menor contenido de mercurio y que sean más eficientes en cuanto al ahorro de energía (más lúmenes por vatio).

Bajo estas circunstancias, la principal preocupación de las fábricas para poder comercializar sus LF fue lograr pasar satisfactoriamente la prueba TCLP y que sus LF fueran clasificadas como residuos no peligrosos. Con esta finalidad, algunos fabricantes, concientes de la importancia de reducir el contenido de mercurio en las LF, optaron por reducir la cantidad de mercurio en sus lámparas aplicando efectivamente tecnologías que les permitieran incluso aumentar la eficiencia lumínica.

Gracias a esta práctica se ha logrado reducir el contenido de mercurio en las LF, particularmente en las lámparas lineales tipo T12 de 40W de 4', de 42.0 mg de mercurio total en 1992 a 21.0 mg de mercurio total para después de 1997.

Tabla N° 3: Contenido de mercurio en Lámparas Fluorescentes tipo T12 (miligramos/lámpara)

Año	Hg elemental	Hg divalente	Hg particulado	Hg total
Antes 1992	0.082	40.9180	0	41
1992 – 1996	0.060	29.9400	0	30
1997 – 2007	0.042	20.9580	0	21

Fuente: Philips Waltisky, Philips Lighting Company.
Joseph Howley, GE Lighting.
Sylvania Corporation.

Conforme al avance tecnológico estas cantidades de mercurio han ido disminuyendo cada vez más, desarrollándose nuevos tipos de lámparas más eficientes, con contenidos de mercurio inferiores a 10 mg. Sin embargo, la aplicación de estas tecnologías ha incidido en el precio de las LF, y es por esta razón que cuando se intentó introducirlas en el mercado peruano a mediados de los años 90, no se presentó la demanda esperada y fueron desplazadas por otras marcas y modelos¹⁷.

¹⁷ Precio de lámparas fluorescentes marca Philips ALTO ®: US\$3.00 vs. Precio promedio de otras lámparas fluorescentes: S/.4.00

A diferencia del desarrollo de estas tecnologías, otros fabricantes optaron por usar aditivos en las lámparas con el objetivo de reducir la cantidad de mercurio percolado en la prueba TCLP, de tal manera que sus LF fueran consideradas como residuos no peligrosos. Sin embargo, estos aditivos resultan ser ineficientes en prevenir la lixiviación de todo el mercurio de las LF en un relleno sanitario¹⁸.

Debido a esta práctica, la prueba TCLP puede resultar no definitiva para determinar si una LFD es un residuo peligroso o no.

2.5. Experiencia de Manejo y Disposición Final de Lámparas Fluorescentes en Desuso: USA

De acuerdo a la legislación vigente para residuos universales (40 CFR 273), las principales consideraciones que deben tomar los operadores de pequeñas y grandes cantidades de residuos universales, entre ellos las LFD, para su disposición final, son las siguientes:

2.5.1. Almacenamiento

El generador de residuos debe disponer de un sistema seguro para el almacenamiento de sus residuos antes del tratamiento o disposición final. Típicamente, este almacenamiento se efectúa en contenedores o depósitos. El tipo de almacenamiento depende de las propiedades fisicoquímicas de los residuos universales, la forma de generación y la cantidad de los mismos.

2.5.2. Contenedores

Los contenedores deben ofrecer la ventaja de ser portátiles y disponibles para cualquier estado físico de residuos universales, ofrecer la facilidad para ser llenados y deben ser lo suficientemente resistentes para evitar fugas o cualquier tipo de emisión al medio ambiente. Pueden mantenerse cerca del proceso de generación de residuos hasta que se

¹⁸ Artículo ("The Truth about Low Mercury Lamps"), www.lighting.philips.com

llenen, para ser trasladados posteriormente sin dificultad al área de almacenamiento antes de ser transferidos.

2.5.3. Recolección y Transporte

Todo contenedor o depósito conteniendo residuos universales destinados para su transporte debe estar claramente etiquetado de acuerdo al tipo de residuo y sus peligros. El empaquetado y el medio de transporte deben ser seguros para prevenir fugas, derrames o cualquier contacto o emisión al medio ambiente.

En el caso específico de las LFD, éstas pueden ser transportadas, alternadamente, en contenedores que pueden ser cilindros de 55 galones (200lt) con tapas aseguradas con ganchos o grapas para fijarlas al recipiente y garantizar la no emisión de las sustancias contenidas en las LFD durante su transporte.

2.5.4. Otras consideraciones aplicadas en USA

Mantener las lámparas intactas, ya que rotas liberan vapor de mercurio al medio ambiente.

Las lámparas rotas pueden ser recicladas. Sin embargo, si no son aceptadas por el servicio de reciclaje, éstas deberán ser dispuestas en un relleno sanitario, de acuerdo a su categoría de residuo universal.

Colocar las lámparas en contenedores protegidos.

Remover y desechar los residuos de lámparas rotas inmediatamente.

El personal encargado del manejo de las LFD deber estar apropiadamente entrenado.

2.5.5. Alternativas de Disposición final

2.5.5.1. Disposición en Rellenos Sanitarios

Debido al contenido de mercurio que poseen las LFD, la legislación americana establece que, su disposición en rellenos sanitarios debe ser realizada de acuerdo a la que le corresponde como residuo peligroso.

Inicialmente, la disposición de las LFD en rellenos sanitarios, consistía en una evaluación inicial para determinar si eran residuos peligrosos o no, de acuerdo a los resultados de la prueba TCLP¹⁹. Como siguiente paso se las sometía a un tratamiento previo para reducir su volumen y/o reciclar algunos de sus componentes. Posteriormente, su disposición final como residuos peligrosos se realizaba encerrándolas en celdas de concreto. Con el avance tecnológico, se dejó de lado el procedimiento de encierro de LFD y otros residuos peligrosos, para ser reemplazado por la disposición final en parcelas tapizadas con mantas impermeables (geomembrana), resistentes a la acción corrosiva, para evitar que el material lixiviado entre en contacto con el suelo o el agua subterránea.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que los residuos peligrosos sean colocados y encerrados dentro de las parcelas de forma ordenada, considerando la posible incompatibilidad entre ellos (reacciones).

2.5.5.2. Reciclaje de LFD

El reciclaje de las LFD involucra un proceso de trituración en unidades especiales y la posterior separación del contenido de las LFD. Durante este proceso el vapor de mercurio de las lámparas es succionado por un sistema de ventilación por aspiración. De esta manera, el material capturado por el sistema de aspiración pasa a través de un ciclón y un filtro de carbón activado para separar las partículas de polvo fosfórico y el vapor de mercurio.

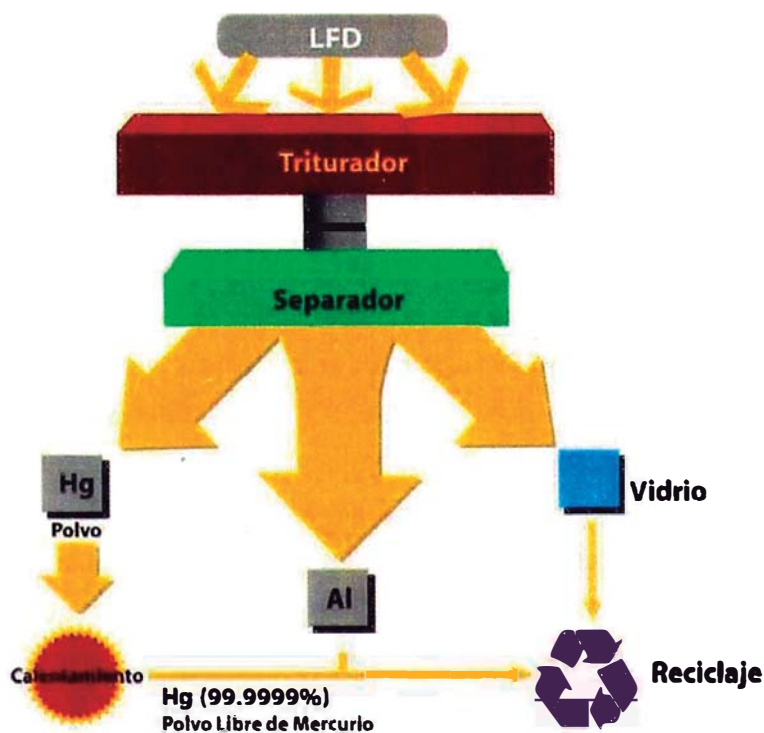
Las LFD trituradas son separadas de acuerdo a sus principales componentes, es decir, conectores, vidrio, polvo fosfórico y mercurio metálico. Cabe mencionar, que entre los principales generadores de LFD se encuentran los hogares, escuelas, centros comerciales e industrias.

¹⁹ Ver ítem 2.3.2.1

Después de ser trituradas y separadas, las LFD son transportadas en contenedores adecuados por la empresa prestadora de residuos u otro transportista que cumpla con los requisitos de transporte de residuos peligrosos establecidos por la autoridad competente.

Es importante tener en cuenta que el reciclaje de las LFD debe ser realizado en lugares que posean sistemas de aislamiento y de presión negativa, localizados estratégicamente para evitar posibles emisiones al medio ambiente.

Gráfico N° 6: Procedimiento realizado en el reciclaje de LFD



Fuente: http://www.bulbs.com/default.asp?page=recycle&pagespec=recycle_process1

Tabla N° 4: Materiales obtenidos del reciclaje de las LFD

Las tapas de aluminio y electrodos:	Vidrio:	Polvo fosfórico:
<p>Son limpiados y enviados para su reciclaje y fundición.</p> <p>En este punto las concentraciones de mercurio deben ser menores a 20 mg/Kg.</p>	<p>Es limpiado y analizado para ser enviado para su reciclaje y re-uso (no en alimentos).</p> <p>En este punto la concentración de mercurio en el vidrio debe ser menor a 0.2 mg/l.</p>	<p>Es colocado en contenedores y enviado a un centro de servicio certificado en reciclaje de mercurio.</p> <p>El polvo fosfórico es calentado (entre 357 – 550°C de 4 a 20 horas), posteriormente el vapor de mercurio es separado por un sistema de destilación a presión negativa.</p> <p>Para remover el mercurio del polvo fosfórico, se lo somete a un proceso de destilación, removiéndose más del 99% del mercurio del polvo fosfórico y, obteniendo mercurio con una pureza del 99%²⁰.</p>

2.5.5.2.1. Dispositivos de Trituración de LFD “in situ”

Los trituradores de LFD “in situ” consisten en una unidad que es alimentada con una lámpara fluorescente a la vez, la cual se destruye con una cuchilla giratoria. Los materiales destruidos caen a un contenedor que está conectado a la unidad trituradora. El aire dentro de la unidad es recolectado y pasado a través de un filtro que se encarga de retener el vapor de mercurio antes de ser liberado al ambiente. Así, las emisiones de vapor de mercurio son controladas usando filtros de carbón activado impregnados con concentraciones de 10 – 20% de azufre o con 1 – 5 % de ioduro de potasio.

²⁰ Recyclights Web Site (www.moea.state.mn.us/berc/mercury-lamps.cfm)

Imagen N° 1: Equipos de Trituración de LFD "In Situ"



Fuente: Suzanne Davis, Office of Pollution prevention and Technology development / Department of Toxic substances control. *Survey and Initial Evaluation of Small on-site fluorescent lamp crushers. April 2001*

Algunas unidades de filtrado pueden incluir un filtro para material particulado (ejemplo: bolsas de filtros o un filtro HEPA) antes del filtro de carbón activado. Durante la operación muchos sistemas están diseñados para proveer presión negativa en las unidades para evitar liberaciones de mercurio y/o polvo al medio ambiente.

Tabla N° 5: Costo Estimado de Reciclaje de LFD Trituradas e Intactas²¹

Empresa recicladora	Costo de Reciclaje				Observaciones
	Lámparas Trituradas \$/lb	Lámparas Trituradas \$/cilindro*	Lámparas Intactas \$/pie	Lámparas Intactas \$/cilindro equivalente**	
A	1.33	400	0.08	256	Costo estimado promedio. Puede variar dependiendo de la cantidad de lámparas trituradas en un cilindro
B	0.86	250	0.06	195	Costo Estimado
C	1.50	450	0.11 0.08	352 256	\$0.11/pie para 10000 pies de LFD. \$0.08/pie para 10000 pies de LFD.

* Asumiendo que cada cilindro con LFD pesa aproximadamente 300 lbs.
** Asumiendo que un cilindro de 55 galones puede contener 800 lámparas de 4 pies trituradas.

De la Tabla N° 5 se observa que el costo de reciclaje de las LFD trituradas con equipos "*in situ*" es mayor comparado con el costo de reciclaje de las LFD intactas. Sin embargo, se debe considerar que el triturarlas antes de enviarlas a su reciclaje elimina los riesgos de que se rompan durante su transporte a las instalaciones de la empresa recicladora.

2.5.5.3. Incineración de LFD (Tratamiento)

La incineración es el proceso por el cual se queman residuos industriales y peligrosos a temperaturas comprendidas entre los 1600° y 1700° C, en una cámara cerrada con el objetivo de transformarlos en compuestos menos peligrosos y reducir su volumen, controlando adecuadamente las emisiones.

²¹ Suzanne Davis, Survey and Initial Evaluation of Small On-Site Fluorescent Lamp Crushers. Office of Pollution Prevention and Technology Development Department of Toxic Substances Control. April 2001.

Sin embargo, estudios²² sobre incineración de residuos sólidos concluyen que en sistemas no equipados con dispositivos de control de mercurio, como filtros de carbón activado u otros, se libera el 90 % del mercurio incinerado en forma de vapor, 5 % en cenizas volátiles y el 5% restante queda en la ceniza del fondo del incinerador.

Además, debemos tener en cuenta, que las cenizas obtenidas de la incineración de residuos peligrosos deben ser de todas maneras dispuestas en un relleno sanitario como residuo peligroso.

²² Tuesdale, Roberts, Research Triangle Institute, Management of Used Fluorescent Lamps: Preliminary Risk Assessment, October 1992. (Revised 14th May, 1993)

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

- I. Estimar el nivel de contaminación ambiental y riesgo a la salud, debido a la inadecuada disposición de lámparas fluorescentes en desuso (LFD), tomando como base sólo las LFD modelo T12 40W.
- II. Determinar el manejo y disposición final, ambiental y económicamente más viable, considerando la legislación nacional y experiencias internacionales.

3.2. Objetivos específicos

- i. Determinar la cantidad de LFD modelo T12 40W generadas a partir de las LF que ingresaron al país entre los años 1999 y 2004.
- ii. Estimar la cantidad total de mercurio (vapor y particulado), que se habría desprendido al medio ambiente por la disposición de las LFD quebradas y que fueron generadas en el país entre los años 1999 y 2004.
- iii. Determinar el grado de toxicidad de la exposición humana al polvo fosfórico de las LFD a partir de pruebas de laboratorio en animales.
- iv. Determinar el riesgo a la salud humana y al medio ambiente (aire, suelo y agua) al entrar en contacto con las sustancias contenidas en una LFD.
- v. Determinar el método de disposición final más adecuado, de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis que se realicen y, complementariamente, desde el punto de vista técnico y económico.

4. METODOLOGÍA, MATERIALES Y RESULTADOS

4.1. Metodología para estimar la cantidad de LF que se convierten en LFD entre 1999 - 2004

Existen varios factores que determinan cuando una LF se convierte en una LFD, entre las principales se pueden mencionar:

El tiempo de vida máximo.

La cantidad de horas de uso.

El tipo de uso.

Frecuencia de encendido, etc.

Considerando que una distribución binomial se caracteriza por las siguientes propiedades:

Definido por n ensayos o pruebas idénticas repetidas.

Cada prueba o elemento de la muestra está asociado a dos sucesos elementales:

e: éxito

f: fracaso

Las pruebas o ensayos repetidos son independientes.

La variable aleatoria definida como el número de éxitos toma $n+1$ valores.

Y que éstas corresponden a las de nuestro ensayo, calculamos la cantidad de LF que se convierten en LFD en un determinado período, utilizando la Distribución Binomial.

4.1.1. Definición de variables

n : número de años de funcionamiento de una lámpara.

De acuerdo a la información técnica de las LF, su tiempo de vida es de 20,000 hrs. Considerando que una LF

funciona 9 hrs al día²³, el tiempo de vida esperado en años será:

$$20,000 \text{ hrs} \times \frac{1 \text{ día}}{9 \text{ hrs}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 6.09 \text{ años}$$

Entonces: $n = 6$ años

p :de acuerdo a la experiencia de los fabricantes y usuarios de las LF T12 de 40W, la probabilidad de que en cada año una LF funcione, es decir, que no se malogre, es del 75% (una de cada 4 LF es reemplazada cada año)²⁴

$$P(e) = p = 0.75 \quad \text{y} \quad P(f) = 1 - p = 0.25$$

éxito :que en un determinado año las lámparas cumplan con la condición descrita en p .

x :número de éxitos.

$P(X = x)$: Probabilidad de que en un año determinado se tenga éxito o no.

4.1.2. Distribución Binomial

Se tiene 6 años de uso máximo de una LF, entonces:

Para $x = 0$ (en ningún año se cumple con la condición p).

Tenemos:

$$P(X = 0) = P[\underbrace{f, f, f, f, f, f}]$$

²³ Para efectos de este cálculo se ha considerado como tiempo de funcionamiento diario de una LF, el tiempo equivalente a un horario de trabajo de 8h + 1h de refrigerio.

²⁴ Mercury Emissions from the Disposal of Fluorescent Lamps, Final Report, EPA – Office of Solid Waste, March 1998.

Y como: $f = (1 - p) \rightarrow P(X = 0) = (1 - p)^n$

- Para $x = 1$ (sólo en un año se cumple con la condición p).

Tenemos:

$$P(X = 1) = P[\underbrace{e, f, f, f, f, f; f, e, f, f, f, f; \dots}]_{\binom{n}{1}}$$

Y como: $e = p$ y $f = (1 - p) \rightarrow P(X = 1) = \binom{n}{1} \cdot p^1 \cdot (1 - p)^{(n - 1)}$

- Para $x = 2$ (sólo en dos años se cumple con la condición p).

Tenemos:

$$P(X = 2) = P[\underbrace{e, e, f, f, f, f; f, e, e, f, f, f; \dots}]_{\binom{n}{2}}$$

Y como: $e = p$ y $f = (1 - p) \rightarrow P(X = 2) = \binom{n}{2} \cdot p^2 \cdot (1 - p)^{(n - 2)}$

- Para $x = 6$, tenemos:

$$\rightarrow P(X = 6) = \binom{n}{6} \cdot p^6 \cdot (1 - p)^{(n - 6)}$$

Ésta sería la probabilidad de que en n años todas las LF cumplan con la condición p . Y si n es igual a los 6 años de funcionamiento máximo de una LF, tenemos:

$$P(X=6, n = 6, p = 0.75) = \binom{6}{6} \cdot 0.75^6 \cdot (1 - 0.75)^{(6 - 6)}$$

$$P(X=6, n = 6, p = 0.75) = (0.75)^6 = 0.1779$$

Entonces, 0.1779 sería la fracción de LF que cumplirían con el tiempo máximo de vida (6 años). Transcurrido este tiempo dejaría de funcionar y así se convertirían en LFD.

Por lo tanto la fracción de lámparas a ser dispuestas cada año estaría dada por la siguiente fórmula:

$$P(x,n,p) = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x} \dots\dots\dots(I)$$

4.1.3. Cálculo de la fracción de LF que se convierten en LFD entre los años 0 a 6

Utilizando las variables definidas en el punto 4.1.1 y la ecuación (I), determinamos la fracción de LF que se convierten en LFD en cada año X.

Tabla N° 6: Fracción de LF que se convierten en LFD por año

X (Año)	Fracción	Acumulado
0	0.000244	0.000244
1	0.004395	0.004639
2	0.032959	0.037598
3	0.131836	0.169434
4	0.296631	0.466064
5	0.355957	0.822021
6	0.177979	1.000000

Gráfico N° 7: Distribución Binomial de la Fracción de LF que se convierte en LFD cada año



De la Tabla N° 6 se observa que en el año 6, que es el tiempo de vida máximo de una LF, la totalidad de éstas se convertirían en LFD.

4.1.4. Cálculo de la cantidad de LF que se convierten en LFD

Para efectos de esta investigación se ha seleccionado el período comprendido entre 1999 y 2004, para lo cual se obtuvo información de la base de datos de ADUANAS. Esta información corresponde al número de LF tipo T12 de 40 W de diversas marcas que ingresaron al país entre los años 1993 y 2004.

Tabla N° 7: Cantidad de LF tipo T12 40W ingresadas al Perú entre 1993 - 2004

Año	Cantidad de Lámparas
1993	2,202,514
1994	2,654,865
1995	2,841,555
1996	2,580,471
1997	2,391,719
1998	1,895,092
1999	2,415,472
2000	1,713,304
2001	1,953,212
2002	2,451,780
2003	2,994,932
2004	2,452,093

Entonces, de los resultados obtenidos de las tablas N° 6 y 7, se puede determinar la cantidad de LF que se convierten en LFD cada año, considerando como base para el cálculo el año 1993, y teniendo presente que las LFD que se generan cada año por las LF que ingresaron ese mismo año, se sumarán a las LFD que se generen a partir de las LF que ingresaron los 6 años anteriores.

Tabla N° 8: Cantidad de LF tipo T12 40W convertidas en LFD entre 1999 - 2004

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1993	538	9,679	72,593	290,370	653,334	784,000	392,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	648	11,667	87,502	350,007	787,515	945,018	472,509	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	694	12,487	93,655	374,619	842,893	1,011,471	505,736	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	630	11,340	85,050	340,199	765,447	918,537	459,268	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	584	10,510	78,829	315,315	709,458	851,349	425,675	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	463	8,328	62,460	249,841	562,143	674,571	337,286	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	590	10,615	79,612	318,446	716,504	859,804	429,902	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	418	7,529	56,469	225,875	508,219	609,863	304,931	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	477	8,583	64,376	257,504	579,383	695,260	347,630	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	599	10,774	80,808	323,233	727,274	872,728	436,364	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	731	13,161	98,710	394,840	888,389	1,066,067	533,034	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	599	10,776	80,818	323,274	727,366	872,840	436,420
Total	538	10,327	84,953	390,989	1,108,919	2,042,157	2,607,856	2,638,236	2,471,189	2,256,857	2,118,506	2,057,380	2,051,866	2,203,123	2,432,021	2,229,798	1,405,873	436,420

Sin considerar información de años
anteriores a 1993.

Información completa

Sin considerar información de años
posteriores a 2004.

Sabiendo que una LF tiene una vida máxima de 6 años, hemos seleccionado como período para el cálculo el comprendido entre los años 1999 y 2004, debido a que solamente en este intervalo se tiene la cantidad completa de LF tipo T12 40W en el país. (Ver tabla N° 8).

Tabla N° 9 Cantidad de LFD Generadas entre 1999 y 2004

Año	Cantidad de LFD
1999	2,607,856
2000	2,638,236
2001	2,471,189
2002	2,256,857
2003	2,118,506
2004	2,057,380
TOTAL	14,150,024

De estos cálculos, se estima que entre los años 1999 y 2004 se generaron 14,150,024 LFD tipo T12 40W, en nuestro país.

4.2. Metodología para el cálculo de la cantidad de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004

La cantidad de Hg total (elemental + iónico) contenido en una LF de acuerdo a su año de fabricación, fue obtenido de un documento elaborado por la EPA²⁵, el mismo que reúne información técnica proveniente de los propios fabricantes²⁶ (Ver Tabla N° 3).

Cabe precisar que, el polvo fosfórico al ser producido no contiene mercurio en ninguna de sus especies. Sin embargo, al momento de introducir el vapor de mercurio en el tubo de vidrio durante la fabricación de las LF, parte

²⁵ Mercury Emissions from the Disposal of Fluorescent Lamps, Final Report, EPA – Office of Solid Waste, March 1998.

²⁶ Philips Waltisky, Philips Lighting Company, Joseph Howley, GE Lighting, Sylvania Corporation.

de éste se transforma en mercurio iónico (Hg^{2+}) y mercurio particulado (vapor condensado) impregnándose en el polvo fosfórico.

Para determinar la cantidad de mercurio eliminado con las LFD se procedió a multiplicar la cantidad de LFD dispuestas en cada año con la cantidad de mercurio por lámpara, de acuerdo al año de fabricación de la LF. De esta manera se obtuvo la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Cantidad de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1993	0.0	0.3	2.2	8.7	19.6	23.5	11.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	0.0	0.4	2.6	10.5	23.6	28.4	14.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	0.0	0.4	2.8	11.2	25.3	30.3	15.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	0.0	0.3	2.6	10.2	23.0	27.6	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	0.0	0.2	1.7	6.6	14.9	17.9	8.9	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.3	5.2	11.8	14.2	7.1	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.7	6.7	15.0	18.1	9.0	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.2	4.7	10.7	12.8	6.4	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.4	5.4	12.2	14.6	7.3	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.7	6.8	15.3	18.3	9.2	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.3	2.1	8.3	18.7	22.4	11.2	0.0
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.2	1.7	6.8	15.3	18.3	9.2
Total	0.0	0.3	2.5	11.7	33.3	61.2	77.4	75.6	64.7	51.5	44.5	43.2	43.1	46.3	51.1	46.8	29.5	9.2

Sin considerar información de años
anteriores a 1993.

Información completa

Sin considerar información de años
posteriores a 2004.

Tabla N° 11: Cantidad total de mercurio contenido en las LFD dispuestas entre 1999 – 2004

Año	Hg (Kg)
1999	77.4
2000	75.6
2001	64.7
2002	51.5
2003	44.5
2004	43.2
Total	357.0

Se observa que, entre los años 1999 y 2004 se eliminaron aproximadamente 357.0 Kg de mercurio total provenientes de las LFD, constituyendo un potencial peligro de contaminación ambiental, en caso de que las LFD no hayan sido dispuestas adecuadamente.

4.3. Metodología para estimar el grado de contaminación en aire

Debido a que no existen referencias que indiquen la cantidad de vapor de mercurio que contiene una LFD, la presente metodología estimará el grado de contaminación en el aire causada por la liberación de vapor de mercurio contenido en las LFD, al momento de quebrarse, a partir de la medición de la concentración de vapor de mercurio en un espacio y tiempo determinado, comparándolo con los valores teóricos de las LF proporcionados por los fabricantes.

Con esta finalidad, se construyó una Cámara de Medición cerrada que permitiera romper en su interior una LFD y medir la concentración de vapor de mercurio que ésta emite, con la ayuda de un equipo adecuado. Por otro lado, para determinar la diferencia que existe entre las liberaciones de vapor de mercurio que generan las LFD que se comercializan en nuestro país, se seleccionó una LFD por cada una de las marcas que se encuentran con mayor frecuencia en el mercado peruano.

4.3.1. Materiales

Imagen N° 2: Materiales Instalados

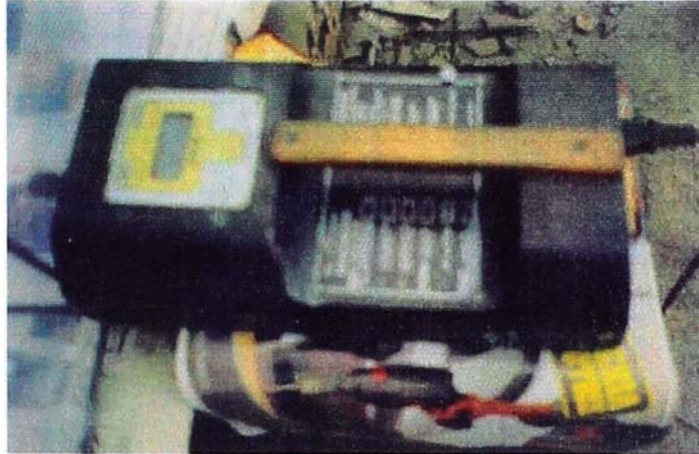


- Estructura metálica de 0.5 x 1.20 x 0.30 m, construido con fierro de ϕ 3/8".
- Plástico transparente para el recubrimiento de la estructura metálica.
- Guantes protectores.
- Bolsas plásticas para la recolección de residuos.
- 5 LFD de distintas marcas tipo T12 de 40W.

4.3.2. Equipo

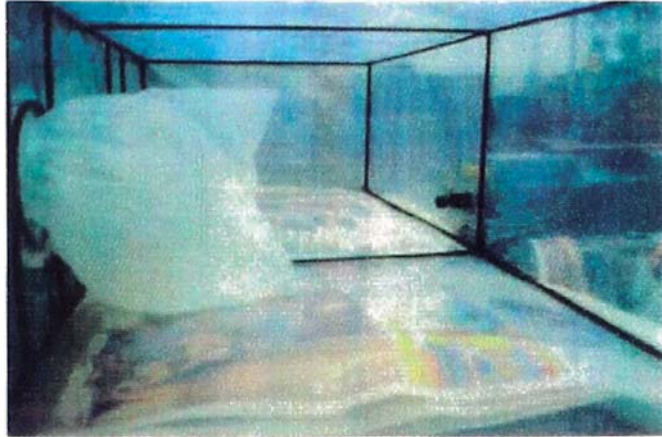
Analizador de vapor de mercurio.

- | | |
|------------------------|--|
| - Marca | Jerome 431 - X |
| - Margen de detección | 0.003 – 0.999 mg/m ³ |
| - Precisión | Desviación estándar relativa 5% a
0.1 mg/m ³ |
| - Tiempo de indicación | 13 seg en el modo de muestreo |
| - Tasa de flujo | 750 cc/min |
| - Fecha de calibración | 23.02.05 (Ver Anexo A.2) |

Imagen N° 3: Equipo medidor de vapor de Hg**4.3.3. Procedimiento**

Para la construcción de la Cámara de Medición se forró la estructura metálica con el plástico transparente, dejando un orificio para la ubicación de la boquilla del equipo analizador y otros dos orificios frontales para el ingreso de aire. Además de una puerta en uno de los lados de la cámara para el ingreso de las LFD y la salida de los residuos.

Imagen N° 4: Instalación del equipo medidor de vapor en la cámara de medición



Una vez construida la cámara e instalado el equipo analizador de vapor de mercurio, se procedió a colocar una LFD en su interior, para luego quebrarla y poner el funcionamiento el equipo.

Imagen N° 5: Rotura de LFD dentro de la cámara de medición



El equipo realiza las mediciones por períodos de 13 segundos. Es así que, después de quebrar una LFD se repetían las mediciones hasta tener lecturas estables (sin variaciones significativas).

Posteriormente, los residuos de la LFD quebrada dentro de la cámara fueron recogidos en una bolsa plástica y retiradas para su disposición.

Imagen N° 6: Recolección de LFD utilizadas



Este procedimiento fue repetido para cada una de las LFD de las marcas seleccionadas.

4.3.4. Lecturas obtenidas de las mediciones

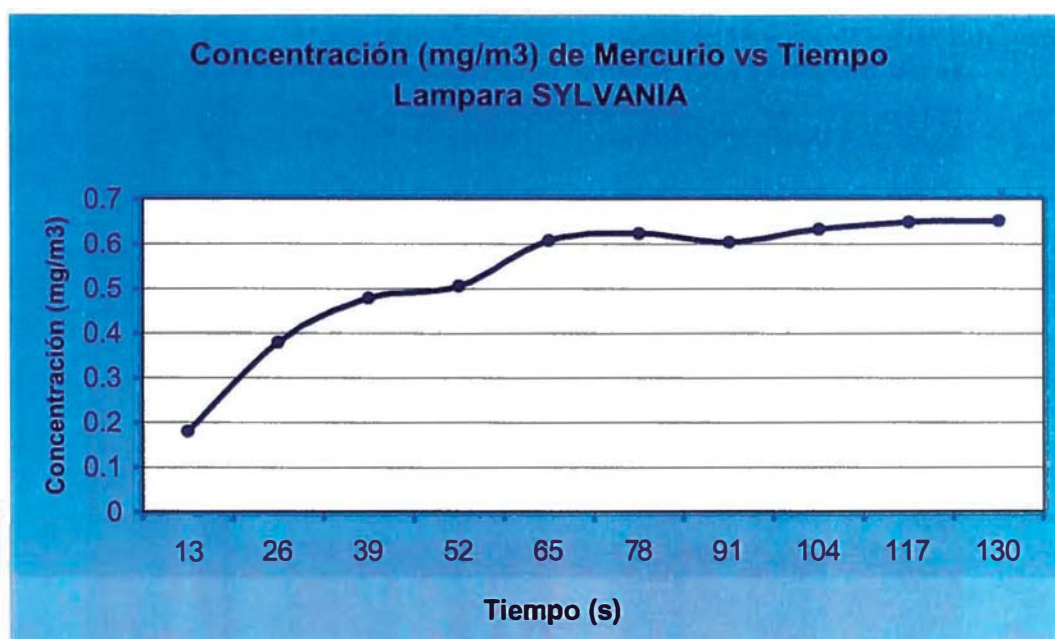
Marca: SYLVANIA

Tabla N° 12: Lecturas obtenidas lámpara Sylvania

N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
1	13	0.181
2	26	0.380
3	39	0.477
4	52	0.504

N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
5	65	0.607
6	78	0.623
7	91	0.603
8	104	0.633
9	117	0.649
10	130	0.652

Gráfico N° 8: Concentración en mercurio lámpara Sylvania



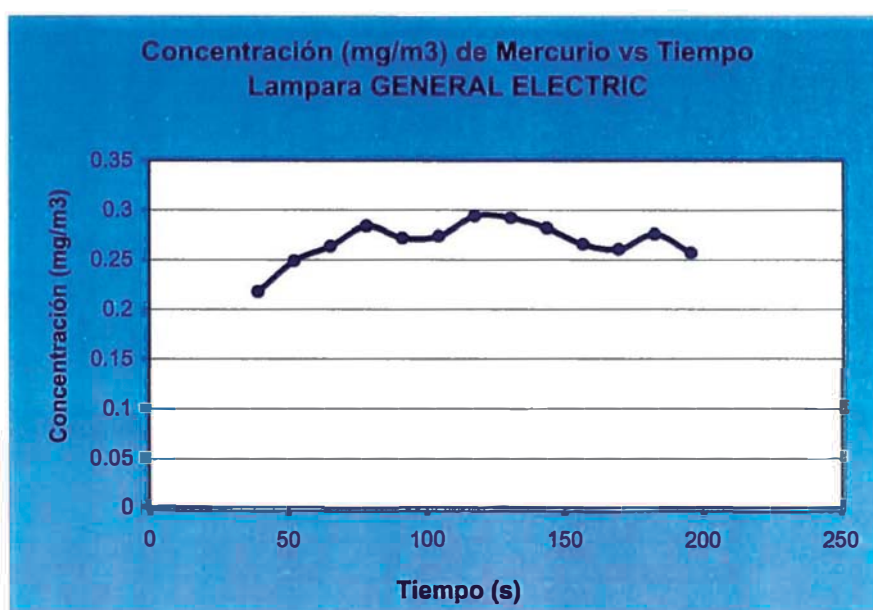
Marca: GENERAL ELECTRIC

Tabla N° 13: Lecturas obtenidas lámpara GE

N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
1	13	0.19
2	26	0.110
3	39	0.218
4	52	0.249
5	65	0.264
6	78	0.284
7	91	0.272
8	104	0.274

N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
9	117	0.294
10	130	0.292
11	143	0.282
12	156	0.266
13	169	0.261
14	182	0.276
15	195	0.257

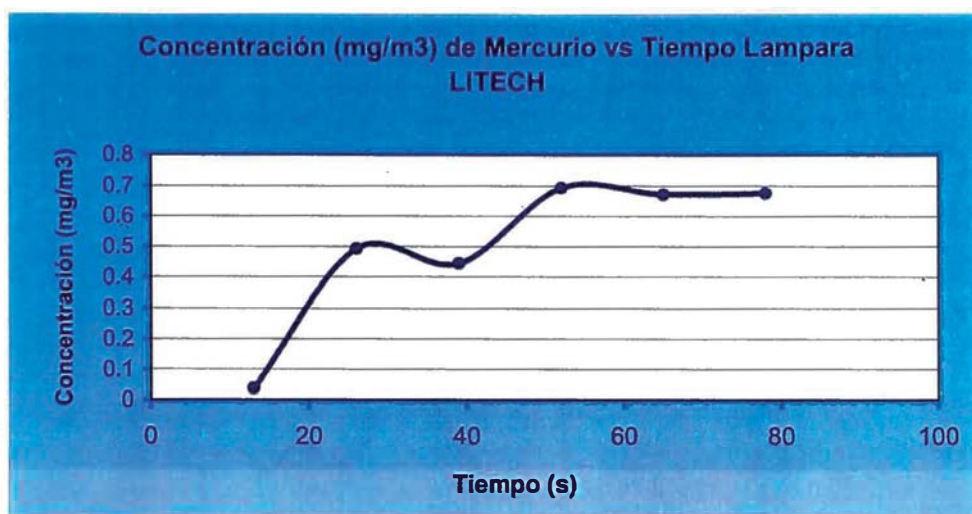
Gráfico N° 9: Concentración en mercurio lámpara GE



Marca: LITECH

Tabla N° 14: Lecturas obtenidas lámpara LITECH

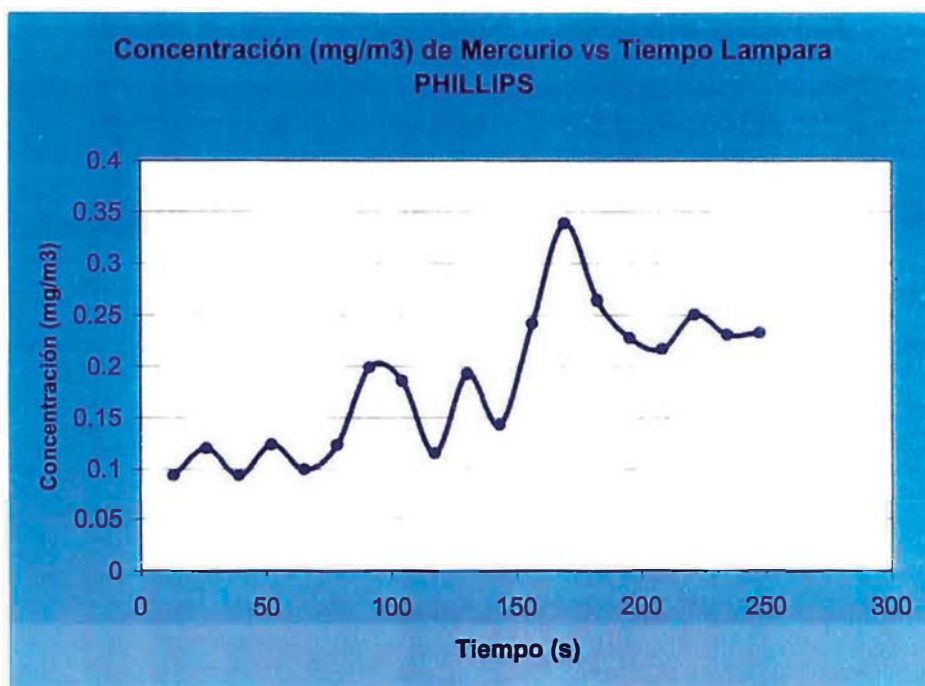
N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
1	13	0.036
2	26	0.491
3	39	0.443
4	52	0.692
5	65	0.671
6	78	0.675

Gráfico N° 10: Concentración en mercurio lámpara LITECH

- Marca: PHILLIPS

Tabla N° 15: Lecturas obtenidas lámpara PHILLIPS

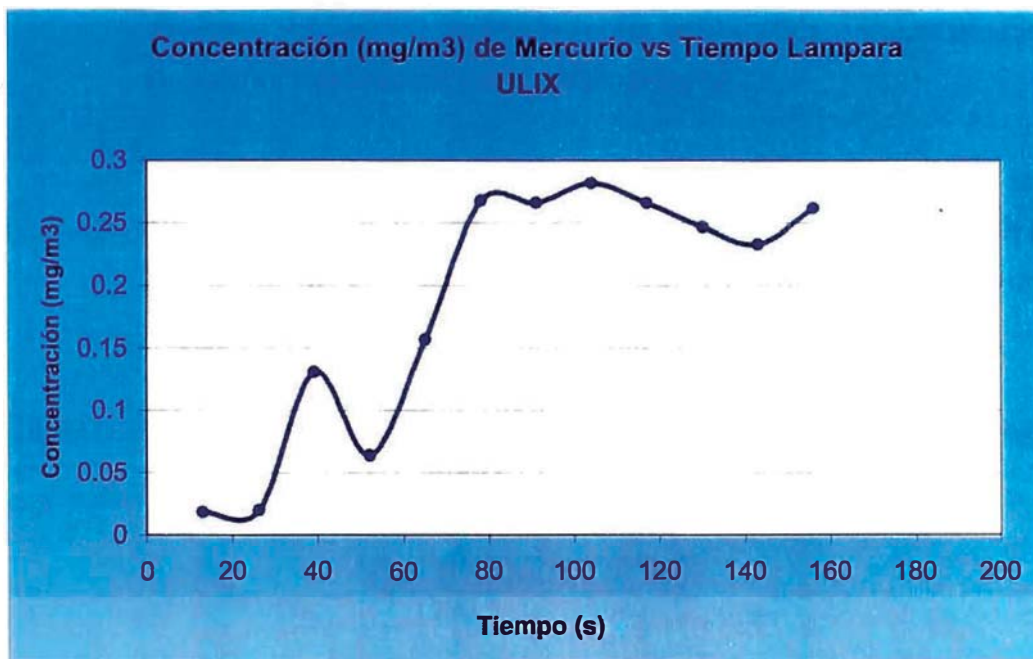
N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
1	13	0.094
2	26	0.120
3	39	0.094
4	52	0.124
5	65	0.100
6	78	0.123
7	91	0.199
8	104	0.186
9	117	0.115
10	130	0.193
11	143	0.143
12	156	0.242
13	169	0.339
14	182	0.264
15	195	0.228
16	208	0.217
17	221	0.251
18	234	0.231
19	247	0.233
20	260	0.346

Gráfico N° 11: Concentración en mercurio lámpara PHILLIPS

- Marca: ULIX

Tabla N° 16: Lecturas obtenidas lámpara ULIX

N°	Tiempo (s)	Concentración (mg/m ³)
1	13	0.019
2	26	0.020
3	39	0.131
4	52	0.064
5	65	0.157
6	78	0.268
7	91	0.266
8	104	0.282
9	117	0.266
10	130	0.247
11	143	0.233
12	156	0.262

Gráfico N° 12: Concentración en mercurio lámpara ULIX

4.3.5. Interpretación de Resultados

De acuerdo a la información de los fabricantes de LF (Ver tabla N° 3: Contenido de mercurio en lámparas fluorescentes tipo T12 40 W en mg de Hg/lámpara), las LFD eliminarían 0.06 mg de vapor de mercurio por lámpara fabricada entre los años 1992 y 1996, y 0.042 mg de vapor de mercurio por lámpara fabricada entre los años 1997 y 2007. Al calcular la concentración que existiría en un ambiente de 0.18 m³ (volumen de la Cámara de Medición) con estas cantidades, se obtienen concentraciones de 0.23 y 0.33 mg de vapor de mercurio/m³.

Al consolidar la información obtenida de las mediciones de vapor de mercurio eliminado por las LFD al quebrarse, se pudo elaborar el Gráfico N° 13.

Según la gráfica N° 13, la mayoría de las concentraciones medidas se encuentran dentro del rango dado por los fabricantes de LF. Por lo tanto, para efectos de calcular la cantidad de vapor de mercurio eliminado por las LFD dispuestas entre 1999 y 2004, consideraremos los valores establecidos por los fabricantes de LF.

Se observa que las liberaciones de vapor de mercurio superaron en algún momento al límite techo (0.1 mg/m^3) establecido por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), dentro de un espacio de 0.18 m^3 (volumen de la cámara de medición).

Tabla N° 17: Cantidad de vapor de mercurio potencialmente liberado al aire con las LFD dispuestas entre 1999 – 2004

Año	Hg (Kg)
1999	0.1549
2000	0.1513
2001	0.1294
2002	0.1031
2003	0.0890
2004	0.0864
Total	0.7141

Tabla N° 18: Cantidad de mercurio liberado al medio ambiente con las LFD (T12 40W) dispuestas entre 1999 – 2004

Mercurio eliminado en:	Cantidad (Kg)
A la atmósfera	0.71
En el recubrimiento fosfórico	356.29
Total de las LFD (1999-2004)	357.00

Gráfico N° 13: Comparación de las mediciones de concentración de vapor de mercurio de las LFD seleccionadas y de las concentraciones resultantes a partir de los valores publicados por los fabricantes de LF

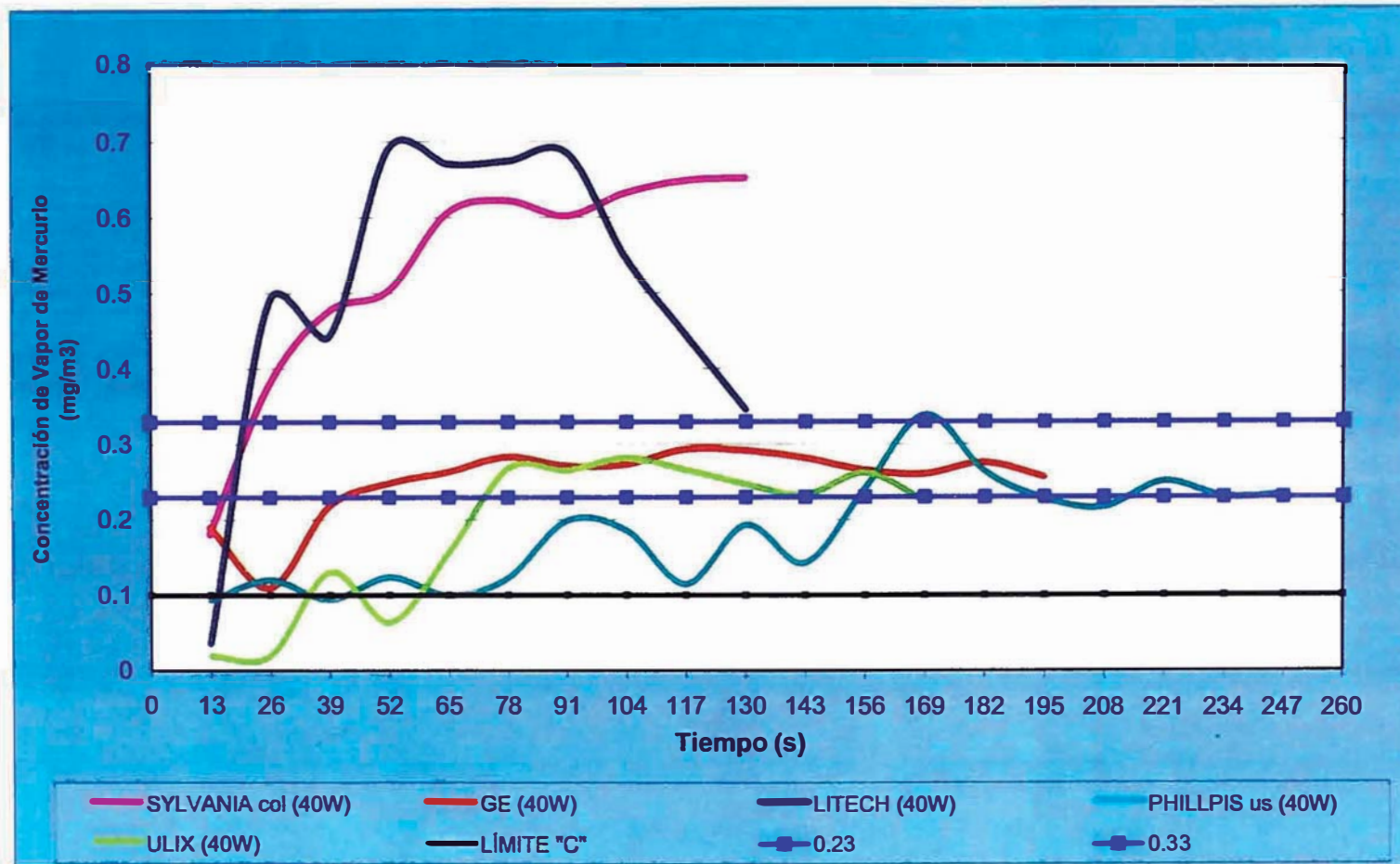


Tabla N° 19: Cantidad de vapor de Hg eliminado con las LFD entre los años 1999 – 2004

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1993	0.0000	0.0006	0.0044	0.0174	0.0392	0.0470	0.0235	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	0.0000	0.0007	0.0053	0.0210	0.0473	0.0567	0.0284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	0.0000	0.0007	0.0056	0.0225	0.0506	0.0607	0.0303	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	0.0000	0.0007	0.0051	0.0204	0.0459	0.0551	0.0276	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	0.0000	0.0004	0.0033	0.0132	0.0298	0.0358	0.0179	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	0.0000	0.0003	0.0026	0.0105	0.0236	0.0283	0.0142	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0004	0.0033	0.0134	0.0301	0.0361	0.0181	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0003	0.0024	0.0095	0.0213	0.0256	0.0128	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0004	0.0027	0.0108	0.0243	0.0292	0.0146	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0005	0.0034	0.0136	0.0305	0.0367	0.0183	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0006	0.0041	0.0166	0.0373	0.0448	0.0224	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0005	0.0034	0.0136	0.0305	0.0367	0.0183
Total	0.0000	0.0006	0.0051	0.0235	0.0665	0.1223	0.1549	0.1513	0.1294	0.1031	0.0890	0.0864	0.0862	0.0925	0.1021	0.0937	0.0590	0.0183

Sin considerar información de años
anteriores a 1993.

Información completa

Sin considerar información de años
posteriores a 2004.

4.4. Metodología para determinar contaminación en suelo

Para poder determinar la contaminación en suelo causada por las sustancias liberadas de las LFD al ser dispuestas en botaderos a cielo abierto. Se construyó una unidad piloto que simule lo que ocurriría si las LFD fueran quebradas y acumuladas sobre la superficie del terreno, sin la interferencia de otros productos que contengan las mismas sustancias del polvo fosfórico de una LFD.

Debido a que los botaderos a cielo abierto se ubican en distintos lugares y a que el tipo de suelo no es un factor decisivo para su establecimiento en un determinado lugar, el tipo de suelo utilizado en la unidad piloto fue seleccionado sin considerar alguna característica en particular. Sin embargo, se han realizado pruebas físicas de éste como:

- Granulometría,
- permeabilidad, y
- densidad. (Ver Anexo A.3 y A.4)

4.4.1. Materiales

- Piezas de triplay de
- 80 x 15 cm (02)
- 30 x 15 cm (02)
- 80 x 10 cm (08)
- 30 x 10 cm (08)
- 01 Pieza de rodón
- 5 m de malla tipo mosquitero
- Clavos y tachuelas
- 0.25 m³ de suelo
- 05 unidades de LFD tipo T12 40W

4.4.2. Procedimiento

- Para facilitar la toma de muestras de suelo a diferentes niveles de profundidad se construyeron cuatro (04) celdas de 10 cm de altura y una (01) de 15 cm.
- Cada una de las cuatro (04) celdas de 10 cm de altura fueron construidas con dos (02) piezas de 80 x 10 cm y 30 x 15 cm.
- Para separar cada nivel de las celdas se colocaron piezas de malla tipo mosquitero en la parte inferior de cada celda.
- Las celdas fueron llenadas con el suelo y apiladas una sobre otra colocando en la parte superior de la celda de 15 cm de altura. Cabe precisar que en la celda superior se dejó un borde libre de 5 cm.

Imagen N° 7: Instalación de celdas



Una vez armada la unidad piloto, se procedió a romper cinco (05) LFD sobre la superficie del suelo de la celda superior.

Imagen N° 8: LFD's quebradas en la superficie del suelo de la celda



- Para simular las condiciones en las que se encontrarían las LFD si fueran desechadas en un terreno descubierto, la unidad piloto fue dejada en un lugar al aire libre por un período de cinco (05) semanas.
- Transcurrido este lapso de tiempo, se tomaron muestras de suelo a distintas profundidades con la ayuda de una pala de plástico.

Imagen N° 9: Recolección de muestras de suelo contaminado



Imagen N° 10: Profundidad de las muestras tomadas (10 cm.)



Las muestras recolectadas fueron etiquetadas de la siguiente manera:

Tabla N° 20: Características de las muestras de suelo

Muestra (Código)	Profundidad (cm)	Peso (Kg)
MS-00	-	0.97
MS-12-01	0 - 2	0.84
MS-23-02	2 - 3	0.74
MS-34-03	3 - 4	0.81
MS-68-04	6 - 8	0.83
MS-80-05	8 - 10	0.9

- Las muestras fueron llevadas a un laboratorio de análisis químico de suelo, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 21: Resultados del análisis de suelo (Ver Anexo A.5)

SAMPLE	DEPTH	WEIGHT	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
			Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
DESCRIPTION	cm	Kg	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
MS-00	0	0.97	<2	1.21	0.9	12	20	64
MS-12-01	0 - 2	0.84	<2	1.28	0.8	12	17	60
MS-23-02	2 - 3	0.74	<2	1.28	0.8	12	19	64
MS-34-03	3 - 4	0.81	<2	1.21	0.9	12	16	75
MS-68-04	6 - 8	0.83	<2	1.27	0.8	12	18	64
MS-80-05	8 - 10	0.9	<2	1.16	0.8	12	18	63

SAMPLE	DEPTH	WEIGHT	ME-ICP41	ME-ICP41	Hq-CV41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
			Fe	Ga	Hg	K	La	Mg
DESCRIPTION	cm	Kg	%	ppm	ppm	%	ppm	%
MS-00	0	0.97	3.49	10	0.61	0.29	10	0.8
MS-12-01	0 - 2	0.84	3.57	10	0.97	0.28	10	0.8
MS-23-02	2 - 3	0.74	3.8	10	0.89	0.28	10	0.83
MS-34-03	3 - 4	0.81	3.53	10	0.82	0.27	10	0.83
MS-68-04	6 - 8	0.83	3.69	10	0.62	0.3	10	0.85
MS-80-05	8 - 10	0.9	3.52	10	0.6	0.27	10	0.82

SAMPLE	DEPTH	WEIGHT	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
			Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
DESCRIPTION	cm	Kg	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
MS-00	0	0.97	664	2	0.1	8	1530	84
MS-12-01	0 - 2	0.84	673	2	0.14	8	1730	80
MS-23-02	2 - 3	0.74	727	1	0.12	9	1650	78
MS-34-03	3 - 4	0.81	670	1	0.1	7	1570	89
MS-68-04	6 - 8	0.83	721	2	0.11	6	1600	80
MS-80-05	8 - 10	0.9	668	2	0.1	9	1530	86

SAMPLE	DEPTH	WEIGHT	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
			S	Sb	Sc	Sr	Ti	Tl
DESCRIPTION	cm	Kg	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
MS-00	0	0.97	0.08	5	5	95	0.13	<10
MS-12-01	0 - 2	0.84	0.08	10	5	96	0.13	<10
MS-23-02	2 - 3	0.74	0.08	8	5	97	0.13	<10
MS-34-03	3 - 4	0.81	0.08	4	5	94	0.13	<10
MS-68-04	6 - 8	0.83	0.09	5	6	99	0.14	<10
MS-80-05	8 - 10	0.9	0.07	4	5	92	0.13	<10

SAMPLE	DEPTH	WEIGHT	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
			U	V	W	Zn
DESCRIPTION	cm	Kg	ppm	ppm	ppm	ppm
MS-00	0	0.97	<10	84	<10	223
MS-12-01	0 - 2	0.84	<10	82	<10	203
MS-23-02	2 - 3	0.74	<10	83	<10	201
MS-34-03	3 - 4	0.81	<10	84	<10	206
MS-68-04	6 - 8	0.83	<10	85	<10	206
MS-80-05	8 - 10	0.9	<10	83	<10	192

4.4.3. Interpretación de los Resultados

- De la Tabla N° 21 se observa un incremento en las concentraciones de los siguientes elementos a las distintas profundidades muestreadas.

Tabla N° 22: Sustancias que incrementaron sus Concentraciones

Profundidad (cm)	Sustancias que incrementaron sus Concentraciones (ppm)					
	Hg	Mn	Na (%)	P	Sb	Ca (%)
-	0.61	664	0.1	1530	5	1.21
0 - 2	0.97	673	0.14	1730	10	1.28
2 - 3	0.89	727	0.12	1650	8	1.28
3 - 4	0.82	670	0.1	1570	4	1.21
6 - 8	0.62	721	0.11	1600	5	1.27
8 - 10	0.60	668	0.1	1530	4	1.16

- De la información presentada en la Tabla N° 1 y los resultados de laboratorio, podemos afirmar que el incremento producido en las concentraciones de los elementos: Hg, Mn, Na, P, Sb y Ca, se debe al contacto e infiltración, en el suelo, de las sustancias contenidas en las LFD.

Tabla N° 23: Variación de concentración de sustancias

Profundidad (cm)	Variación de la concentración (Ci - Co) en ppm					
	Hg	Mn	Na (%)	P	Sb	Ca (%)
0 - 2	0.36	9.00	0.04	200.00	5.00	0.07
2 - 3	0.28	63.00	0.02	120.00	3.00	0.07
3 - 4	0.21	6.00	0.00	40.00	0.00	0.00
6 - 8	0.01	57.00	0.01	70.00	0.00	0.06
8 - 10	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00

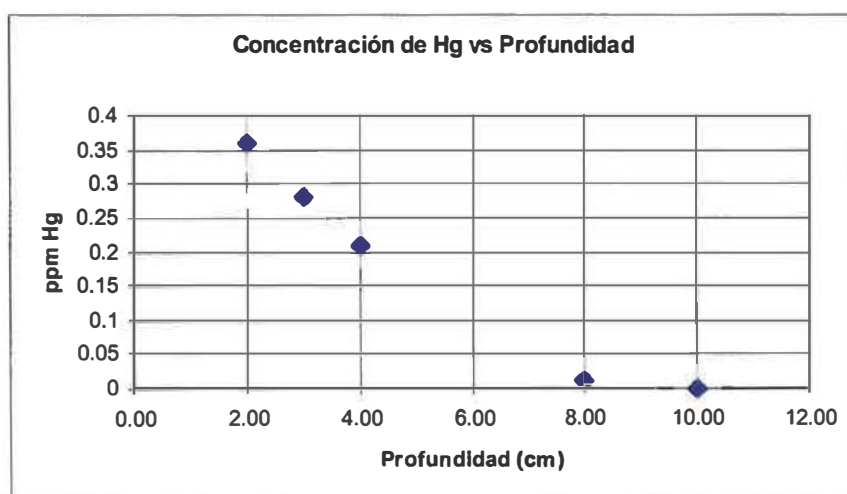
De la tabla N° 22, los elementos Na, Sb y Ca no presentan incrementos significativos y continuos a las diferentes profundidades muestreadas, en tanto el Mn y P no muestran una relación entre sus concentraciones y la profundidad a la que han llegado a descender. Sin embargo, se observa que el Mn llegó hasta 10 cm de profundidad, mientras que los elementos, P y Ca lograron llegar hasta 8 cm de profundidad y el Sb y Na sólo llegaron hasta 3 cm.

Es por estas razones que trabajaremos con los datos de las variaciones de concentración de Hg para poder construir una gráfica que correlacione las concentraciones versus la profundidad.

Tabla N° 24: Variación de la concentración de Hg vs. profundidad

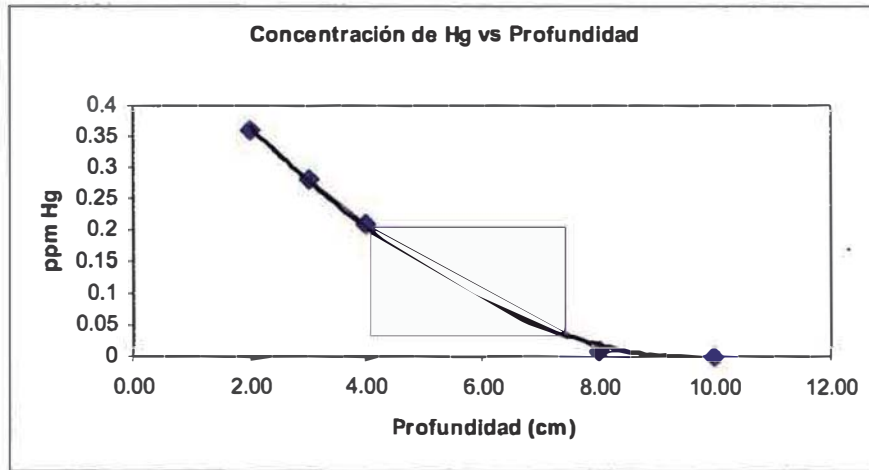
Profundidad (cm)	Hg	
	Co	ΔC
0 - 2	0.97	0.36
2 - 3	0.89	0.28
3 - 4	0.82	0.21
6 - 8	0.62	0.01
8 - 10	0.6	0

Gráfico N° 14: Variación de la concentración de Hg vs. profundidad



Del Gráfico N° 14 se observa que la concentración de Hg varía respecto de la profundidad en forma cuadrática, y que puede ser descrita con la ecuación (II).

Gráfico N° 15: Gráfico de la ecuación (II)



$$y = 0.0058x^2 - 0.116x + 0.5737 \dots \dots \dots (II)$$

$$R^2 = 0.9984$$

- Con la ecuación (II) se estimará hasta qué profundidad se infiltró el Hg liberado de las LFD quebradas sobre la superficie del suelo de la unidad piloto, durante el período de cinco (05) semanas.

Tabla N° 25: Estimación de concentración en suelo

Prof. (cm)	ppm Hg
1	0.4635
2	0.3649
3	0.2779
4	0.2025
5	0.1387
6	0.0865
7	0.0459
8	0.0169
9	0.000

De la tabla N° 24 se puede estimar la cantidad de Hg presente en cada nivel de profundidad muestreado después de cinco (05) semanas de haber quebrado las LFD's en la superficie de la celda piloto, notándose que el Hg llegó hasta 8 cm de profundidad del suelo.

4.5. Metodología para determinar los efectos tóxicos del Polvo Fosfórico de las LFD

Existen muchas pruebas para determinar el nivel de toxicidad de una sustancia química en la salud humana. La diferencia entre estas pruebas radica en la forma de exposición, que puede ser por ingesta, inhalación y/o contacto.

En esta investigación se pretende determinar el nivel de toxicidad del polvo fosfórico que recubre el interior de las LFD, al entrar en contacto con el ser humano a través de la piel, ya que consideramos que este tipo de exposición tiene una mayor probabilidad de ocurrencia que la ingesta. A su vez, la exposición por inhalación estaría más relacionada al contacto con el vapor de mercurio de las LFD, cuyos efectos tóxicos ya han sido tratados en el punto 2.2.2.6 de este documento, que al propio recubrimiento fosfórico.

Para determinar el nivel de toxicidad del polvo fosfórico en piel se utilizará el método 404 OECD GUIDELINE FOR THE TESTING ON CHEMICALS (Acute Dermal Irritation/Corrosion) adopted 24th April 2002 de la Organization of Economic Cooperation and Development – OECD (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico – OCDE)²⁷, el cual fue llevado a cabo por el Servicio de Control de Calidad de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

La metodología 404 OECD se desarrolla de la siguiente manera:

4.5.1. Selección de la especie animal

Método 404 OECD	Desarrollo en Laboratorio
- Para esta prueba se debe utilizar conejos albinos, adultos y en condiciones saludables.	- En esta prueba se utilizaron dos (02) conejos albinos, cepa Nueva Zelanda adultos.

²⁷ Ver Anexo A.7

4.5.2. Condiciones de vivienda y alimentación

Método 404 OECD	Desarrollo en Laboratorio
<ul style="list-style-type: none">- El peso adecuado para un conejo adulto sometido a esta prueba debe variar entre 2 y 2.5 Kg.- Las condiciones de temperatura y humedad deben estar comprendidos entre $20^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ y hasta 70% de humedad relativa, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none">- Los animales inicialmente pesaban entre 1 y 1.5 Kg, por lo que se los mantuvo durante dos (02) semanas, con alimentación balanceada y agua hasta obtener el peso adecuado.- Durante las dos semanas de crianza, los conejos estuvieron en un ambiente en el que la temperatura promedio fue de 20°C y la humedad relativa de 70%.

Imagen N° 11: Condiciones de vivienda y alimentación de conejos albinos



4.5.3. Preparación de los animales

Método 404 OECD	Desarrollo en Laboratorio
- Se debe remover el pelo del dorso del conejo 24 horas antes de efectuar la prueba y tener mucho cuidado de no dañar la piel de la zona a estudiar.	- Para remover el pelo de los conejos se utilizó crema depiladora hipoalérgica, 24 horas antes de la prueba.

Imagen N° 12: Conejo albino depilado y pesado antes de la prueba

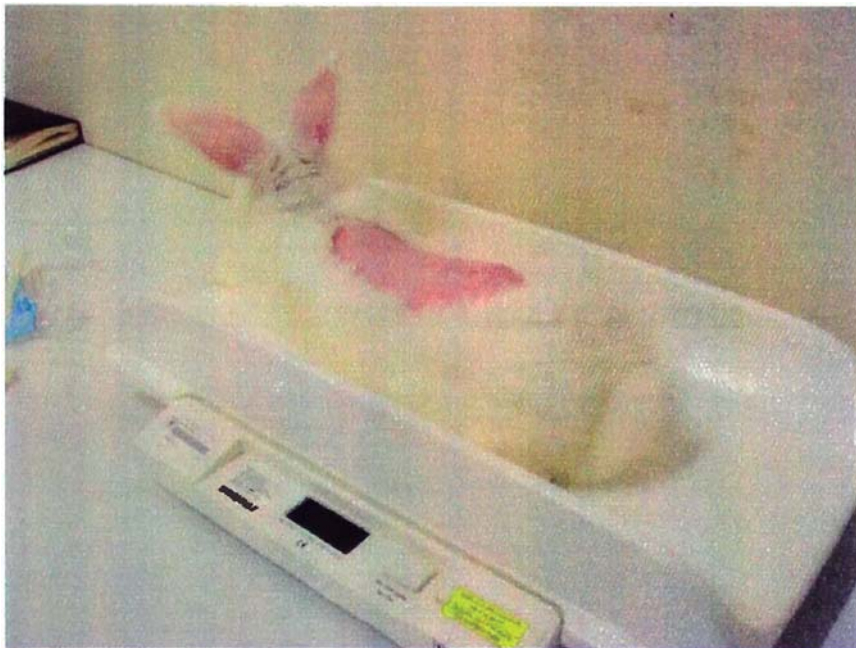


Imagen N° 13: Conejo en cepo para la prueba



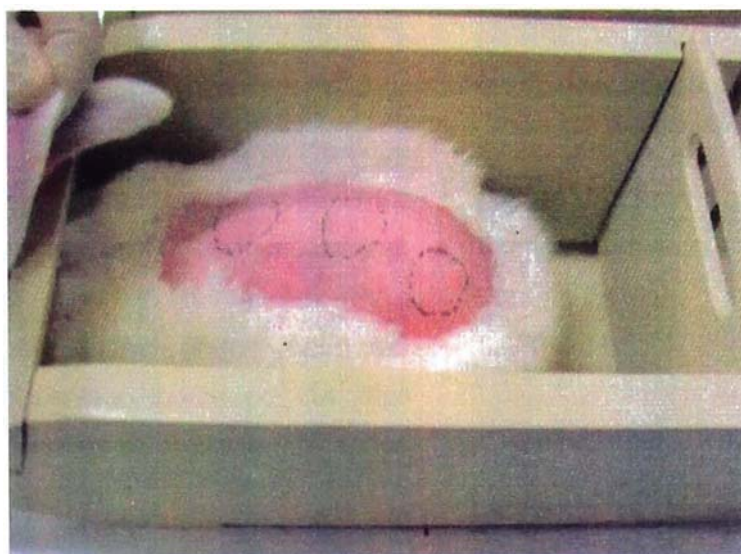
Imagen N° 14: Parches de gasa y esparadrapo



4.5.4. Prueba

Método 404 OECD	Desarrollo en Laboratorio
<ul style="list-style-type: none"> - La sustancia a estudiar debe ser aplicada directamente sobre una área pequeña de piel, de aproximadamente 6 cm², fijándola con la ayuda de parches de material hipoalergénico. - Se debe asegurar que el animal no entre en contacto con la sustancia a ser evaluada por ingestión o inhalación. - Al final de la prueba (aproximadamente 4 hrs después) se debe remover la sustancia residual de la piel del animal sin alterar la existencia de alguna reacción o la integridad de la piel del animal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplicó el polvo fosfórico en tres (03) zonas diferentes de piel sana por períodos de 3min, 1hr y 4hrs, asegurándolo con parches de gasa y esparadrapo hipoalergénico. - Los animales fueron colocados en cepos para garantizar la inmovilidad del animal durante la prueba.

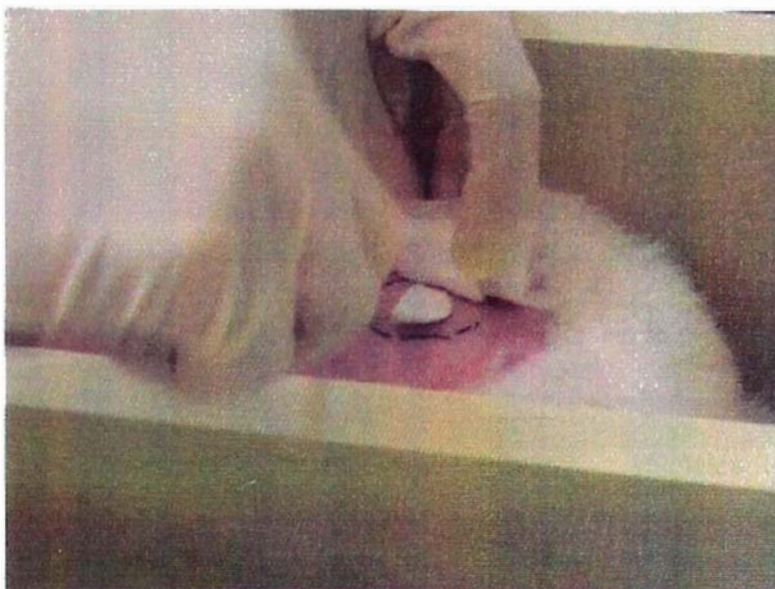
Imagen N° 15: Zonas del dorso del conejo donde se harán las pruebas de irritabilidad



4.5.5. Dosis

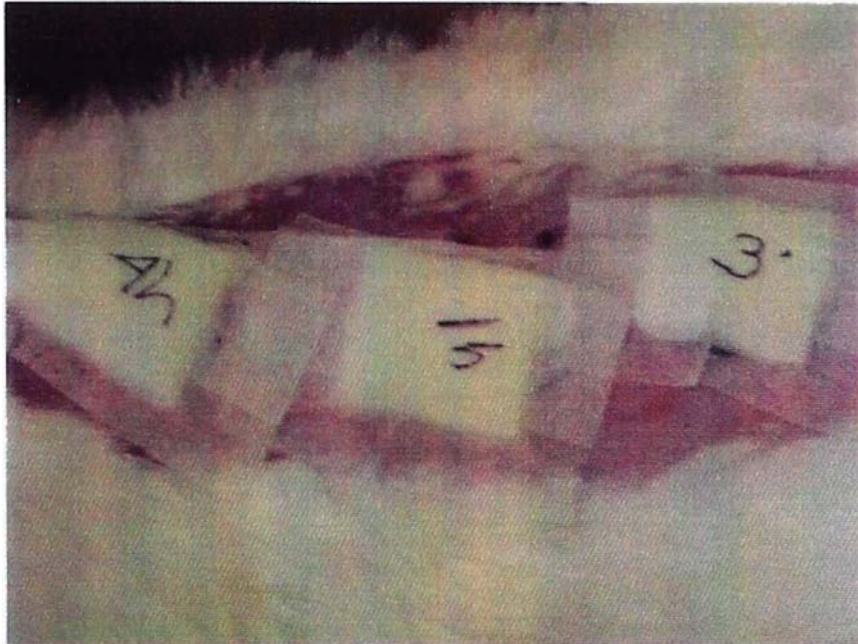
Método 404 <u>OECD</u>	Desarrollo en Laboratorio
- Se debe aplicar aproximadamente 0.5g de la sustancia sobre la piel del animal.	- Se aplicaron aproximadamente 0.5g de polvo fosfórico en cada una de las tres zonas de piel sana de cada animal.

Imagen N° 16: Aplicación del recubrimiento fosfórico de LFD en las zonas marcadas para la prueba



4.5.6. Período de observación

Método 404 <u>OECD</u>	Desarrollo en <u>Laboratorio</u>
- El período de observación debe ser suficiente para evaluar los efectos producidos y determinar si éstos son reversibles. Para este fin, el animal debe ser observado hasta por 14 días después de haber removido los parches.	- Transcurridos los períodos de prueba de 3min, 1hr y 4hrs, los animales fueron observados durante 14 días.

Imagen N° 17: Fijación de parches en las tres zonas de experimentación**4.5.7. Observación Clínica y Grado de Reacción en la piel**

Método 404 OECD	Desarrollo en Laboratorio
<ul style="list-style-type: none"> - Los animales deben ser examinados para buscar signos de eritema o edema después de 60min, 24hrs, 48hrs y 72hrs, después de removidos los parches. - De acuerdo a lo observado, el grado de eritema y edema debe ser calificado según la tabla "GRADING OF SKIN REACTION" del Anexo A.7. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los animales fueron examinados transcurridos los períodos de prueba de 3min, 1hr, 4hrs, 24hrs, 48hrs y 72hrs, después de removidos los parches, asignándoles una calificación según la tabla "GRADING OF SKIN REACTION" del Anexo A.7.

Imagen N° 18: Observación de la piel después de 4 horas**Tabla N° 26: Grado de Irritación Aguda**

		Conejo 1	Conejo 2
		Muestra	Muestra
Eritema	3 minutos	1	1
	1 hora	1	1
	4 horas	1	1
Edema	3 minutos	0	0
	1 hora	0	0
	4 horas	0	0

Fuente: Informe Técnico N° IT083/05 (Anexo A.6)

4.5.8. Interpretación de Resultados

Según el Informe Técnico N° IT083/05 con código SCC-UPCH: EP972-0125/05 (Anexo A.6), se obtuvo como resultado que la muestra del producto produjo un eritema leve en los dos (02) conejos evaluados (prueba inicial y confirmatoria) a los 3min, 1hr y 4hrs. No se observó formación de escaras ni edema. Asimismo, a los 14 días no se observó ningún efecto sobre la piel de los conejos sometidos a prueba.

4.6. Metodología para la Evaluación de Riesgos a la Salud por exposición a sustancias contenidas en las LFD

Sustancia	Identificación de Peligros ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuáles sus efectos adversos?	Evaluación Dosis- Respuesta ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis-efecto y dosis-respuesta, respectivamente)?	Evaluación de la Exposición ¿Cuál es la intensidad y la duración o frecuencia de la exposición a un agente?	Caracterización del Riesgo ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?
Vapor de Mercurio de LFD	Vapor de mercurio, los datos de toxicidad se mencionan en el punto 2.2.2.6 del presente documento.	Efectos agudos y crónicos adversos a concentraciones mayores a los límites máximos permisibles.	TLV-TWA ²⁸ : 0.025 mg/m ³ TLV-C: 0.1 ²⁹ mg/m ³	Mientras una LFD permanezca intacta no se liberará el mercurio contenido en ella. El incremento de la concentración de Hg liberado por la LFD que se rompen y la poca ventilación aumentarían el riesgo de superar los límites máximos permisibles, presentándose los efectos descritos.

²⁸ Límite Máximo Permissible (LMP) ACGIH

²⁹ Límite Máximo Permissible (LMP) OSHA

Sustancia	Identificación de Peligros ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuáles sus efectos adversos?	Evaluación Dosis- Respuesta ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis-efecto y dosis-respuesta, respectivamente)?	Evaluación de la Exposición ¿Cuál es la intensidad y la duración o frecuencia de la exposición a un agente?	Caracterización del Riesgo ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?
Recubrimiento fosfórico de LFD	Polvo fosfórico de LFD, los efectos a la salud son: irritación leve en piel (estudio toxicológico en conejos)	Irritación leve por contacto directo con piel. No se ha considerado el contacto por vía oral o inhalación.	Contacto con 0.5 g polvo fosfórico de LFD en un área total de 6 cm ² por tiempos de 3 minutos, 1 hora y 4 horas. Pasados estos periodos, no se observaron efectos mayores al presentado, después del contacto. No se ha considerado el contacto por vía oral o inhalación.	La exposición prolongada al recubrimiento fosfórico de las LFD, por contacto dérmico, produciría irritación leve. No se ha considerado el contacto por vía oral o inhalación.

4.7. Metodología para la Evaluación de Riesgos Ambientales por las sustancias contenidas en las LFD

Sustancias Identificadas	Evaluación de Exposición Ambiental			Descripción del riesgo ambiental
	Aire	Suelo	Agua	
Vapor de Mercurio	Los resultados del ensayo en la cámara cerrada (0.18 m ³) confirmaron la liberación de vapor de mercurio.	----	----	La rotura de LF y LFD libera vapor de mercurio a la atmósfera incorporándose a la concentración ya existente de Hg, generada por otras actividades, y continuando con el ciclo global del Hg en el medio ambiente.
Recubrimiento fosfórico de LFD	----	Los resultados de los análisis de suelo contaminado con restos de LFD confirman una infiltración de las sustancias contenidas (Hg y otras) hasta 8 cm. de profundidad en cinco (05) semanas de contacto.	La contaminación del suelo con polvo fosfórico conllevaría a la contaminación de fuentes de agua, en caso éstas entraran en contacto con ese suelo.	Se ha evidenciado que el contacto de LFD quebradas con el suelo y agua, genera su contaminación, por la infiltración de las sustancias contenidas en el recubrimiento fosfórico (Hg y otras). El riesgo ambiental se incrementa al considerarse que el Hg se puede transformar en metilmercurio al encontrarse en el suelo y en el agua.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL

5.1. Experiencia de Disposición final de LFD en otros países y en el Perú

En países como Estados Unidos, de donde se ha recopilado mayor información, el manejo y disposición final de LFD se realiza principalmente a través del reciclaje y/o su disposición final en rellenos sanitarios como residuos universales.

En el Perú la disposición final de LFD se realiza mediante su disposición en rellenos como residuos peligrosos, provenientes en su totalidad de empresas e instituciones, o simplemente como residuos municipales, provenientes de domicilios y comercios.

5.1.1. Reciclaje

5.1.1.1. Costo

Hoy en día, el reciclaje de LFD no es un método de disposición final que se realice en nuestro país, por lo cual, la implementación de este método involucraría asumir costos de inversión que comprenderían, entre otros:

- Maquinaria para el reciclaje (dependiendo del número de lámparas)
- Construcción de instalaciones de planta recicladora de LFD (en función de la cantidad de LFD que se deba reciclar)
- Mano de obra calificada.
- Puesta en marcha.
- Operación y mantenimiento de la planta.

5.1.1.2. Ventaja

Aunque en nuestro país no se realiza el reciclaje de las LFD, las experiencias de otros países (USA) señalan como beneficios los siguientes:

- Obtención de materiales como mercurio, vidrio, aluminio y polvo fosfórico para ser reutilizados o comercializados como materia prima, por ejemplo: el polvo fosfórico puede ser utilizado como agregado en asfalto, concreto y plásticos.
- Minimización de las emisiones de las sustancias contenidas en las LFD al medio ambiente.
- Generación de puestos de trabajo.
- Reducción de la cantidad de residuos sólidos que se dispondrán en un relleno sanitario.

5.1.1.3. Desventajas

- Elevado costo de inversión inicial.
- Emisión de mínimas cantidades de mercurio debido al tratamiento de los productos del reciclaje, por ejemplo: emisión de vapor de mercurio durante la fundición de vidrio.

5.1.2. Disposición en Rellenos Sanitarios o de Seguridad

En nuestro país el costo de la disposición de LFD en rellenos sanitarios depende de las condiciones en las que se encuentran las LFD al ser recepcionadas, es decir, si se encuentran intactas o trituradas.

Cabe precisar, que las LFD generadas en empresas o instituciones son segregadas de otros residuos y dispuestas en rellenos sanitarios como residuos peligrosos. En cambio, las LFD generadas en residencias son almacenadas, recolectadas, transportadas y dispuestas como residuos domésticos junto con los demás residuos que se generan en las residencias.

El Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, aprobada mediante D.S. N° 057-2004-PCM, establece en su Art. 28° "Autorizaciones para operar: Toda EPS-RS de recolección, transporte, tratamiento o disposición final de residuos peligrosos del ámbito de la gestión no municipal, deberá cumplir los siguientes aspectos técnico-formales, cuando corresponda:

1. Registrarse en la DIGESA;
2. Aprobación sanitaria del proyecto de tratamiento y disposición final por la DIGESA;
3. Autorización del servicio de transporte en la red vial nacional y la infraestructura de transporte vial de alcance regional, otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y los gobiernos regionales respectivamente; y
4. Autorización para operar los servicios indicados en el presente artículo, otorgada por la municipalidad correspondiente, con excepción de lo señalado en el numeral anterior.”

Asimismo, en el Art. 51° respecto a la “Disposición final de residuos peligrosos” señala que “la disposición final de residuos peligrosos se sujeta a lo previsto en el Reglamento y en las normas técnicas que de él se deriven. Se realiza a través de relleno de seguridad o de otros sistemas debidamente aprobados por la Autoridad de Salud de nivel nacional.”

Bajo estas circunstancias, el único relleno de seguridad para la disposición final de residuos peligrosos, que cuenta con la respectiva Autorización Sanitaria emitida por DIGESA, es el de la EPS-RS “BEFESA PERÚ S.A.”, ubicado en Chilca.

El costo de disponer residuos peligrosos, incluidos las LFD, en este relleno de seguridad es de US\$ 30 por tonelada.

Sin embargo, los principales rellenos sanitarios del país, como Portillo Grande y Zapallal del Consorcio Vega Upaca, Relleno sanitario Huaycoloro y Modelo del Callao de la empresa PETRAMAS S.A., realizan la disposición final de residuos peligrosos, incluyendo las LFD, confinándolos en celdas de concreto o utilizando geomembranas.

El costo de disposición de residuos peligrosos en estos rellenos sanitarios es de US \$ 50.00 por m³, sin incluir los impuestos de ley.

Tabla N° 27: Precios de disposición final de LFD's según tipo de relleno

Tipo de Relleno	Nro de LFD's	Precio de disposición final por LFD ^(c)
Seguridad	5 879 LFD / tn ^(a)	\$ 0.006
Sanitario	3 843 LFD / m ³ ^(b)	\$ 0.015

^(a) Según la tabla N° 5, un cilindro de 55 galones puede contener 800 LFD trituradas con un peso total de 300 lb, equivalente a 136 Kg. Por lo tanto, una tonelada contendría 5 879 LFD.

^(b) Considerando que un cilindro tiene un volumen de 55 galones, equivalentes 0.21 m³ y que este volumen alberga 800 LFD trituradas. Por lo tanto, 1 m³ contendría 3 843 LFD.

^(c) Considerando que el precio de disposición final en un relleno de seguridad es de \$ 30 / tn y que en el relleno sanitario es de \$50 / m³ más IGV.

Como se observa en la Tabla N° 27, el precio de disponer las LFD trituradas en un relleno sanitario es superior al precio de disponerlas en un relleno de seguridad.

5.1.2.1. Disposición en Rellenos como LFD Intactas

5.1.2.1.1. Ventajas

Evita la emisión de vapor de mercurio al medio ambiente, mientras se mantengan intactas.

Evita el contacto de las sustancias contenidas en el polvo fosfórico con el medio ambiente, mientras se mantengan intactas.

Eliminación del costo por tratamiento.

5.1.2.1.2. Desventajas

Necesidad de contar con mayor volumen de espacio en las instalaciones de rellenos para su disposición final.

Necesidad de implementar sistemas que eviten la rotura de las LFD en su transporte y disposición final.

- Existencia de mayor riesgo de ruptura de LFD y la consecuente emisión de vapor de mercurio al medio ambiente.

5.1.2.2. Disposición en Rellenos como LFD Trituradas

5.1.2.2.1. **Ventajas**

En tanto las LFD sean trituradas con un adecuado equipo de trituración, se tendrán las siguientes ventajas:

- Menor volumen de residuos a ser dispuestos.
- Evita la emisión al medio ambiente de la totalidad de vapor de mercurio contenido en las LFD.
- Evita la emisión al medio ambiente de la totalidad de las sustancias contenidas en el polvo fosfórico de las LFD.

5.1.2.2.2. **Desventajas**

- Costo por tratamiento de LFD.
- Emisión mínimas cantidades de vapor de mercurio y demás sustancias contenidas en las LFD al medio ambiente.
- La necesidad de contar con sistemas de ventilación y control de fugas, así como de procedimientos de emergencia que eviten el riesgo de contacto de los residuos con el medio ambiente y las personas.

Tabla N° 28: Precios de manejo y disposición final de LFD³⁰ en relleno de seguridad (Ver Anexo A.8)

Precio	Empresas postoras			
	Ingemedios ^(a)	Green Care ^(b)	Ulloa ^(c)	Hazco ^(d)
S/. por Kg, sin IGV.	7.95	3.85	4.92	17.05

³⁰ Tomado de las propuestas presentadas en la convocatoria de Edelnor S.A.A., para el manejo y disposición final de sus residuos sólidos, 2004 – 2005.

- (a) EPS-RS autorizada para recolección y transporte de residuos peligrosos y no peligrosos.
- (b) EPS-RS autorizada para recolección, transporte y tratamiento de residuos peligrosos, no peligrosos y no municipales. El tratamiento de LFD consiste en su trituración.
- (c) EPS-RS autorizada para recolección y transporte de residuos peligrosos, no peligrosos y no municipales.
- (d) EPS-RS autorizada para recolección, transporte y tratamiento de residuos peligrosos, no peligrosos y no municipales.
- (e) EPS-RS autorizada para recolección y transporte de residuos peligrosos, no peligrosos, municipales y no municipales.

En los casos a), c) y d), los precios incluyen los servicios de recolección, transporte y disposición final en un relleno de seguridad. En cambio, en el caso b) los servicios incluyen, además de la recolección, transporte y disposición final en un relleno de seguridad, el tratamiento de las LFD a través de su trituración con equipos trituradores *"in situ"*, lo cual les permite reducir el volumen de LFD a disponer en un relleno de seguridad y el riesgo de emitir vapor de mercurio al medio ambiente.

Cabe precisar, que todas estas actividades se realizan de acuerdo a los requerimientos establecidos en la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento.

Tabla N° 29: Precio unitario por el manejo y disposición final de LFD

Nro de LFD ^(a)	Precio de manejo y disposición final ^(b)	Precio por LFD ^(c)
5,879	\$1,388.33	\$0.24

(a) Según punto (a) de la tabla N° 27

(b) Precio obtenido al considerar el precio más bajo de la tabla N° 27 (S/. 3.85 por Kg), por tonelada e incluido IG.V.

(c) Precio de manejo y disposición final, incluyendo trituración, por LFD.

5.1.3. Incineración (tratamiento)

En el Perú no existen empresas que traten residuos peligrosos mediante incineración, ya que el Art. 48° del Reglamento de la Ley 27314 establece las condiciones mínimas para incinerar residuos peligrosos, que sin embargo, no existen en el país, ya que su implementación generaría altos costos para el tratamiento de las LFD.

Es así que, la incineración es una práctica considerada como última alternativa en el tratamiento de residuos, incluso en países como EEUU, debido a la posibilidad de generar residuos más peligrosos y a la necesidad de contar con tecnologías que minimicen o eviten la generación de éstos.

Adicionalmente, al considerar la incineración controlada como método de tratamiento de residuos sólidos peligrosos, se debe añadir a estos costos el de disponer los residuos que se generan (cenizas, filtros de control de emisiones, etc.), en rellenos sanitarios como residuos peligrosos.

6. DISCUSIONES

- I. A partir de la información obtenida de la base de datos de Aduanas, respecto a las LF que ingresaron al país entre los años 1993 y 2004 (en el mercado se encuentran sólo lámparas importadas), desarrollando un modelo estadístico, basado en una distribución binomial (ítem 4.1.2), para determinar la fracción de LF que se convierten en LFD en cada año de funcionamiento y considerando como datos de entrada los definidos en el ítem 4.1.1, se estimó la cantidad de LFD que se generaron en el país entre los años 1999 – 2004 (período de información completa), llegando a la conclusión descrita en el ítem I de las conclusiones.

- II.1. Habiendo estimado el número de LFD generadas en el país entre 1999 y 2004, teniendo como dato el contenido de mercurio total en las LF (ver tabla N° 3), y teniendo en cuenta el año de fabricación de las LF que ingresaron al país, se desarrolló una metodología que permitió estimar la cantidad total de mercurio que se emitió al medio ambiente entre los años 1999 y 2004.

- II.2. Al no contar con datos de la cantidad de vapor de mercurio presente en una LFD, decidimos desarrollar una metodología que permitiera determinar la concentración de mercurio que se produce en un volumen definido al momento de quebrar una LFD para confrontarlo con los datos de las LF (ver tabla N° 3). Es así que se procedió a medir la concentración de vapor de mercurio de 5 LFD quebradas en una cámara de 0.18 m³. Comparando los datos obtenidos y la información de las LF (ver ítem 4.3.5), construimos la gráfica N° 13 la cual nos confirmó el uso de datos de las LF (Tabla N° 3), como cantidad de vapor de mercurio presente en una LFD.

- II.3. Teniendo la cantidad de mercurio total emitido al medio ambiente por las LFD generadas entre los años 1999 y 2004 y la cantidad de vapor de mercurio emitido a la atmósfera, por diferencia obtendremos la

cantidad de mercurio contenido en el recubrimiento fosfórico que se liberó al medio ambiente. Si consideramos que el límite de Hg en el suelo es de 0.1 mg/m^3 (ver Anexo A.7) calculamos la cantidad de suelo contaminado por el mercurio contenido en el recubrimiento fosfórico de las LFD generadas entre 1999 y 2004.

- II.4. Tal como se menciona en el último párrafo del ítem 2.1.3 de esta investigación, sólo se consideró las LFD del tipo T12 40 W. Sin embargo existen en el mercado otros modelos de LF que también contienen mercurio y que al ser desechadas, contribuirían en la contaminación del medio ambiente.
- III. Para determinar los efectos tóxicos debido al contacto con una LFD desarrollamos la metodología 4.5, en la cual consideramos como medio de exposición la piel. La prueba toxicológica fue desarrollada en animales de laboratorio, siguiendo una metodología internacional (404 OECD), la cual fue llevada a cabo por personal especializado de la UPCH.
- IV.1. Para determinar los riesgos a la salud humana se desarrolló una metodología basada en la evaluación de riesgos por exposición a sustancias químicas la cual se basa en la identificación de peligros, evaluación dosis-respuesta, evaluación de la exposición y la caracterización del vapor de mercurio y recubrimiento fosfórico de las LFD. No consideramos al argón por ser una sustancia inerte.
- IV.2. La exposición ambiental en aire fue evaluada con los datos de la metodología de contaminación en aire, la exposición ambiental en suelo fue evaluada con los resultados (tabla N° 24) de la metodología de contaminación de suelo y la evaluación de la contaminación en agua fue evaluada a partir de la contaminación de suelo.
- V. Con la finalidad de tratar y disponer las LFD contamos con las alternativas de reciclaje, disposición en rellenos sanitarios o de seguridad e incineración. Cada una de estas alternativas fue

analizada en el ítem 5.1, tomando en cuenta las ventajas, desventajas y costos, así como la experiencia de su ejecución en países como EEUU.

- VI. El Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos establece que un relleno sanitario y un relleno de seguridad deben poseer un $K \leq 1 \times 10^{-6}$ y $K \leq 1 \times 10^{-9}$, respectivamente, para evitar la contaminación ambiental por lixiviados. El suelo utilizado en el ensayo posee un $K = 1.22 \times 10^{-5}$ y los resultados del ensayo determinaron que el mercurio de las LFD descendió hasta 8.0 cm de profundidad en cinco (05) semanas de contacto.

- VII. Considerando lo establecido en el Anexo N° 1 del Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, el mercurio forma parte de contenido de toda LFD, además de los resultados de las metodologías 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6, llegamos a la conclusión VI.

7. CONCLUSIONES

- I. En el período comprendido entre los años 1999 – 2004 (Ver Tabla N° 9) se estima que se generaron aproximadamente 14 150 024 LFD tipo T12 de 40W.

- II.1. Entre los años 1999 – 2004 (Ver Tabla N° 11) se estimó que se eliminaron aproximadamente 357.0 Kg de mercurio total, correspondiente solamente a las LFD tipo T12 de 40W (considerando que todas las LFD generadas en dicho período fueron quebradas), los cuales habrían sido emitidos al medio ambiente en caso las LFD no hayan sido dispuestas adecuadamente.

- II.2. De este total, se estimó que 0.714 Kg (Ver Tabla N° 18), es decir, el 0.20%, se habría emitido a la atmósfera como vapor de mercurio, considerando que todas las LFD generadas entre 1999 y 2004 fueron quebradas sin control de emisiones. Cabe resaltar, que esta cantidad de vapor de mercurio sería suficiente para contaminar 7 141 000 m³ de aire (equivalente aproximadamente al volumen de 36 000 departamentos de 80 m²).

- II.3. Entonces, el 99.80% (356.30 Kg), correspondería al mercurio particulado, impregnado en el polvo fosfórico de las LFD, cuyo destino habría sido los rellenos sanitarios y/o botaderos a cielo abierto. En este caso, esta cantidad de mercurio (considerando el límite de 0.1 mg/Kg) bastaría para contaminar 1 799 495 m³ de suelo (equivalente aproximadamente a 180 Ha de terreno de 1 m de profundidad).

- II.4. Estas cantidades serían superadas si se suman las LFD que se generan a partir de las LF no registradas en ADUANAS, o si consideráramos otros modelos y tipos de LF, como T12 20W, T8 40/20W, T5, circulares, tipo U, Lámparas fluorescentes compactas – LFC, etc.

- III. El resultado de la prueba para determinar los efectos toxicológicos del recubrimiento fosfórico en conejos, indicó eritema leve en contacto dérmico por 3 min, 1 hr y 4 hr, se descartan efectos posteriores a la exposición. De esto podemos concluir que existe la posibilidad de que se produzca irritación dérmica en personas que manipulen el recubrimiento fosfórico de LFD quebradas, por lo que se hace necesario el uso de equipo de protección dérmica para su manipulación.
- IV.1. El riesgo a la salud humana al entrar en contacto con las sustancias contenidas en las LFD, está dado en primer lugar, por la emisión del vapor de Hg de las LFD's, que dependiendo de su concentración y del volumen del ambiente en el que se desprenda, se producirán los daños ya conocidos y descritos en esta investigación, como son: insomnio, cambios en el sistema neuromuscular, dolores de cabeza, entre otros daños al sistema nervioso central. Y, en segundo lugar, está dado por el contacto con el recubrimiento fosfórico en piel, el cual produciría eritema leve.
- IV.2. EL riesgo al medio Ambiente está dado por dos aspectos, la liberación del vapor de Hg a la atmósfera incorporándose a las concentraciones ya existentes y a las emitidas desde otras fuentes, continuando así con el ciclo global del Hg en el medio ambiente. Por otro lado, el recubrimiento fosfórico de las LFD contaminaría el suelo al entrar en contacto con él, debido a la infiltración de las sustancias del polvo fosfórico, resaltando la posibilidad de la transformación de Hg divalente a Hg orgánico (metil y dimetilmercurio).
- V.1. En nuestro país, debido a la inexistencia de infraestructura y mano de obra calificada para el reciclaje de LFD, y a la inconveniencia de la incineración de estos residuos peligrosos, el único método de disposición final para las LFD generadas, que resulta ambientalmente más factible es la de disposición final en rellenos de seguridad y rellenos sanitarios, como residuo peligroso.

- V.2. La trituración de LFD, como método de tratamiento previo a la disposición en rellenos como residuo peligroso, resulta conveniente debido a la minimización de la cantidad de residuos a disponer y a la eliminación de la posibilidad de emitir vapor de mercurio, ya que la trituración de las LFD se realizaría con un adecuado control de emisiones.
- V.3. Debido a que las tarifas de algunos rellenos sanitarios se basan en volumen, la trituración de LFD resulta beneficiosa en el costo de disposición, puesto que se reduce el volumen de residuo a disponer. Adicionalmente, dentro de la alternativa de disposición final de LFD trituradas en rellenos, el precio de disponerlas en rellenos de seguridad es inferior al precio de disponerlas en rellenos sanitarios.
- VI. Podemos afirmar que la inadecuada disposición de las LFD, como son los botaderos a cielo abierto, en los que se puede presentar un K, incluso mayor al del suelo utilizado en esta investigación, genera la contaminación del suelo por la infiltración del mercurio, contenido en el polvo fosfórico de la LFD, en él.
- VII. Toda LFD es un residuo peligroso y por tanto su manejo y disposición final debe corresponder a la de un residuo de esa clasificación. Por otro lado, las LFD intactas representan un riesgo potencial de emisión de vapor de mercurio al medio ambiente, debido a que en cualquier etapa de su manejo o disposición final, éstas podrían quebrarse liberando el vapor de mercurio que contienen.

8. RECOMENDACIONES

- I. Dado que una LFD contiene Hg, y por tanto es un residuo peligroso, y que la mayoría de los generadores, entre ellos los residenciales, no las manejan ni disponen como tales, se recomienda difundir la clasificación de las LFD como residuos peligrosos entre la población en general y conscientizarla respecto a los peligros a la salud y al medio ambiente que pueden producir, a través de campañas de información masiva por medio de los organismos encargados de la gestión de residuos sólidos, como las municipalidades.
- II. Paralelamente a esta conscientización, recomendamos que los encargados de la gestión de residuos sólidos establezcan mecanismos que permitan implementar programas de segregación de residuos peligrosos y no peligrosos a nivel residencial. De esta manera, se evitará que las LFD y otros residuos peligrosos, generados en los domicilios, sean dispuestos en conjunto como residuos domésticos.
- III. Si bien se ha estimado el nivel de contaminación originado por las LFD generadas entre 1999 – 2004, considerando que todas las LFD generadas en dicho período fueron quebradas, debemos señalar que se ha observado que algunos comercializadores de LF almacenan LFD, y que éstas cantidades se van incrementando. En este sentido, recomendamos que las municipalidades brinden las facilidades necesarias para que estos pequeños generadores puedan disponer de estas LFD como residuos peligrosos, sin que ello implique incurrir en gastos que desincentiven esta práctica.
- IV. Recomendamos se promueva el uso de LF que contienen menor cantidad de Hg, como son las lámparas fluorescentes compactas

(LFC) o focos ahorradores (4 mg/lámpara)³¹, LF tipo T8 36W (10 mg/lámpara)³², entre otras, siendo inclusive más eficientes en el ahorro de energía que las LFD tipo T12 40W.

- V. En el caso que una LF o LFD se quiebre, se recomienda alejarse momentáneamente hasta que el ambiente se haya ventilado completamente. Posteriormente, se deberá recoger los residuos de vidrio y polvo fosfórico teniendo cuidado de no entrar en contacto con ellos. Finalmente, se deberá manejarlos y disponerlos como residuos peligrosos.
- VI. Recomendamos que en la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento se establezca claramente la diferencia entre un pequeño y un gran generador de residuos sólidos peligrosos, debido a que al no hacerlo, y de acuerdo a lo dispuesto actualmente, un pequeño generador estaría obligado a contratar a una EPS-RS para manejar y disponer sus residuos peligrosos, aún cuando sus cantidades sean mínimas, lo que implicaría que incurran en gastos que podrían desincentivar el cumplimiento de estas normas.
- VII. De acuerdo a lo concluido respecto al uso de triturados de LFD, como tratamiento previo a su disposición final, recomendamos que las EPS-RS, dedicadas al manejo y disposición final de LFD, generalicen esta práctica.
- VIII. Se recomienda realizar estudios que permitan estimar la cantidad de mercurio que se libera al medio ambiente debido al manejo y disposición final de dispositivos que utilicen mercurio, y al desarrollo de otras actividades que involucren el manejo de mercurio, para que a partir de estos resultados se pueda identificar las principales fuentes de emisión de mercurio y se puedan elaborar estrategias específicas para su control y/o minimización.

³¹ Hoja de Seguridad de LFC: <http://www.nema.org/lamprecycle/epafactsheet-cfl.pdf>

³² Philips Waltisky, Philips Lighting Company / Joseph Howley, GE Lighting / Sylvania Corporation.

- IX. Se recomienda cuantificar las emisiones de mercurio en las distintas etapas del manejo de las LFD, es decir, durante el almacenamiento, recolección, transporte y tratamiento, así como las que se producen con cada uno de los métodos de disposición final descritos.
- X. Se recomienda que las autoridades competentes se comprometan con la protección de la salud poblacional y el medio ambiente, y promuevan campañas para conscientizar a la población sobre la importancia de la segregación de residuos a nivel domiciliario, con la finalidad de evitar que las LFD sean manejadas y dispuestas como residuos domésticos.
- XI. Se recomienda extender los cálculos, para determinar la cantidad de mercurio emitido en un período de tiempo a partir de las LFD que se utilizan en nuestro país, a otros tipos y modelos de LF, como T12 20W, T8 40/20W, T5, circulares, tipo U, LFC, entre otros.
- XII. Se recomienda realizar un estudio económico que determine los beneficios económicos que se obtienen al realizar el reciclaje de las LFD, considerando los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Antonio L. Doadrio Villarejo**, *Ecotoxicología y Acción Toxicológica del Mercurio*. Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia. 01 de Setiembre 2005.
2. **Américo Julio Peña Peña, Elvin Peña Flamberg - CEPIS**, *Tubos Fluorescentes, Pilas y Medio Ambiente*. Mayo 1999.
3. **Apuntes de clases**. UNI – FIA, 1999-2003.
4. **Berrin Tansel, Brenda Reyes-Osorno, Ibrahim N. Tansel**, *Comparative analysis of Fluorescent Lamp Recycling and Disposal Options*. Revista "Journal of solid waste technology and management", Mayo 1998 – CEPIS
5. **Carlos E. Peña, Dean E. Carter, Felix Ayala-Fierro**, *Toxicología Ambiental (Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental)*, 2001 Southwest Hazardous Waste Program-College of Pharmacy The University of Arizona.
6. **CEAC S.A. Ediciones**, *Lámparas Eléctricas*, (Barcelona – España), Primera Edición, julio 1974.
7. **Decreto Supremo N° 057-2004-PCM**, *Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos*. 24 de julio del 2004. Perú.
8. **Decreto Supremo N° 239-2001-EF**, *Arancel de ADUNAS*. 29 de diciembre del 2001. Perú.
9. **Decreto Supremo N°008-2005-PCM**, *Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. 28 de enero del 2005. Perú.

10. **DENHR**, *Guidance for used fluorescent lamp management*. Revised December 1994.
11. **Division of Hazardous Waste Management-Office of Pollution Prevention**, *Fact Sheet "Fluorescent Lamps"*. April 2000.
12. **Draft Wisconsin Mercury Sourcebook: Contractor, Mercury Products** *Focus: Lamps*, pg. 227. May 1997.
13. **Economics, Methods and Risk Analysis Division – Office of Solid Waste US-EPA**, *Modifications of the Hazardous Waste Program: Hazardous Waste Lamps – Final Economic Assessment*, March 11th 1999.
14. **Felix G. R. Reyes, Waldemar F. Almeida**, *Toxicología Prospectiva y Seguridad Química*, PISSQ/PNUMA-OIT-OMS. 1992.
15. **J. H. Duffus, M. V. Park**, *Evaluación de Riesgos Químicos*, PNUMA/IPCS/CEPIS. 1999.
16. **Jorge Jaramillo**, *Residuos Sólidos Municipales. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Agencia Española de Cooperación Internacional-OPS/OMS.
17. **Ley N° 27314**, *Ley General de Residuos Sólidos*. 21 de julio del 2000. Perú.
18. **Ley N° 28245**, *Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. 8 de junio del 2004. Perú.
19. **Ley N° 28256**, *Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*. 19 de junio del 2004. Perú.
20. **MINSA-DIGESA, OPS-OMS-División de Salud y Ambiente**, *Análisis Sectorial de Residuos Sólidos de Perú*. Julio 1998.

21. **NEMA**, *Environmental Impact Analysis: Spend Mercury – Containing lamps*. January 2000.
22. **Nordls Environmental Label**, *Ecolabelling of Ligth Sources – Criteria Document, Version 2.0*. 1995 – 1998.
23. **Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados**, Libro IV, Anexo II, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria. Republica del Ecuador. 2003.
24. **Office of Solid Waste US EPA**, *Mercury Emissions from the disposal of fluorescent lamps, Revised model – Final Report. Post – OMB review*, March 31th 1998.
25. **Oficina Internacional del Trabajo**, *Enciclopedia de Seguridad y Salud Ocupacional 4° Edición – Tomo III – Parte IV Industrias Manufactureras – Capítulo 81 Aparatos y Equipos Eléctricos, Fabricación de Lámparas Eléctricas*. Ginebra 1998.
26. **Pedro Díaz Bustos**, Tablas Estadísticas.
27. **Programa de Iluminación Eficiente IFC/GEF**, *Evaluación de Mercado de Iluminación – Informe Final*. Lima, marzo del 2000.
28. **Randall Conrad & Associates Ltd. – Alberta Environment**, *Fluorescent Lamp Stewardship initiative*. June 2000.
29. **Robert J. Balszczak-Emission Standard Division-US. EPA**, *Research Triangle Park, Evaluation of Mercury Emissions from fluorescent lamps crushing*. February 1994.

30. **Suzanne Davis, Office of Pollution prevention and Technology development / Department of Toxic substances control.** *Survey and Initial Evaluation of Small on-site fluorescent lamp crushers.* April 2001.
31. **United Nations Environment Programme (UNEP),** *Global Mercury Assessment, Geneva, Switzerland.* December 2002.
32. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Destination sites subjects to the RCFA Hazardous Waste regulation at 40 CFR Parts 264/270.* Revised July 1, 2005.
33. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Hazardous Wastes Operating Requirements (Part 733: Standard for Universal Waste Management).* April 13, 2005
34. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Introduction to Land Disposal Restrictions (40CFR Parts 268).* September 2005.
35. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Introduction to Land Disposal Units (40CFR Parts 264/265, Subparts K, L, M, N).* September 2005.
36. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Introduction to Treatment, Storage and Disposal facilities (40CFR Parts 264/265, Subpart A-E).* September 2003.
37. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Introduction to Treatment, Storage and Disposal facilities (40CFR Parts 264/265, Subpart A-E).* September 2005.
38. **US EPA-United States Environmental Protection Agency,** *Introduction to Universal Waste.* September 2005.

Sitios web:

1. www.lighting.philips.com, *The Truth about low mercury lamps.*
2. Brite-lite.com/Produts/Philipsalto, *Waste Minimization Reducing Mercury use Philips lighting.*
3. www.cepis.ops-oms.org, *Residuos Peligrosos.*
4. www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/id/merc-emi/merc-emi.htm, *Hazardous Waste Management System; Modification of the Hazardous Waste Program; Hazardous Waste Lamps; Final Rule - July 6, 1999*
5. www.sylvania.com/BusinessProducts/MaterialsandComponents/LightingComponents/Phosphor/FluorescentLamps/, *Fluorescent Lamps*
6. www.bulbs.com/default.asp?page=recycle&pagespec=recycle_process1, *The Lamp Recycling Process.*
7. epa.gov/reg3hwmd/super/sites/PAD003058047/fs/1995-09_2.htm, *Drake Chemical – Incineration*
8. www.aduanet.gob.pe/aduanas/informae/aepartmen.htm, *Información Estadística de ADUANAS.*
9. www.moea.state.mn.us/berc/mercury-lamps.cfm, *Fluorescent lamp recycling: What really happens?*
10. www.nema.org/lamprecycling/nemafluorfinal.pdf, *Fluorescent Lamps and The Environment.*
11. http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/haz_ldu.htm, *Hazardous Waste Land Disposal Units (LDUs)*

12. http://www.digesa.sld.pe/pw_desb/registros/EPS-RS.pdf, EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIOS DE RESIDUOS SÓLIDOS (EPS-RS)

13. <http://www.nema.org/lamprecycle/epafactsheet-cfl.pdf>, HOJA DE SEGURIDAD: MERCURIO EN LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS (LFC's)

A. ANEXOS:

- A.1 Especificaciones técnicas del equipo Analizador de Vapor de Mercurio JEROME 431-X.
- A.2 Certificado de calibración del equipo Analizador de Vapor de Mercurio JEROME 431-X, utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en aire.
- A.3 Informe de Análisis Granulométrico del suelo utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.
- A.4 Informe de Ensayo de Conductividad Hidráulica del suelo utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.
- A.5 Resultados del Análisis químico del suelo contaminado usado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.
- A.6 Informe técnico del análisis toxicológico realizado con animales en laboratorio.
- A.7 Test N° 404: Acute dermal irritation/corrosion of OECD Guideline for testing of chemicals.
- A.8 Propuesta Económica para el Servicio de Retiro y Disposición Final de Residuos Peligrosos del Almacén Recupero de Edelnor S.A.A."
- A.9 Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Libro IV, Anexo II, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria. Republica del Ecuador - 2003. (Tabla 2 Criterios de Calidad de Suelo).

A.1

A.1 Especificaciones técnicas del equipo Analizador de Vapor de Mercurio JEROME 431-X.



Jerome® 431-X

Analizador de Gases de Mercurio

El analizador de gases de mercurio Jerome 431-X utiliza un sensor de membrana de oro patentada para detectar y medir con exactitud los gases tóxicos de mercurio en el aire. Puede llevarse esta unidad de mano portátil a sitios donde existe preocupación por el mercurio en aplicaciones como el monitoreo de higiene industrial, la limpieza de derrames de mercurio y la prueba de exclusión de mercurio. Con sólo pulsar un botón, el funcionamiento simple permite a los usuarios medir los niveles de 0,003 a 0,999 mg/m³ en tan sólo segundos.

El sensor de membrana de oro es inherentemente estable y selectivo al mercurio, eliminando las interferencias comunes en los analizadores ultravioletas, tales como el vapor de agua y los hidrocarburos. Cuando se activa el ciclo de la muestra, la bomba interna en el 431-X aspira un volumen determinado de aire sobre el sensor. El mercurio en la muestra es absorbido e integrado por el sensor, registrándolo como un cambio proporcional en la resistencia eléctrica. El instrumento calcula la concentración de mercurio en miligramos por metro cúbico o nanogramas, y muestra el resultado final en el lector LCD. Un circuito de regeneración de membrana mejorado en el 431-X hace que el sensor dure aun más que los modelos previos.

Se encuentran disponibles accesorios adicionales para personalizar el Jerome 431-X de modo que pueda cumplir con las necesidades de aplicación personales.

Una configuración de comunicaciones opcional permite el registro de datos, interfaz de computadoras y capacidad para análisis de dosímetro. Para la adquisición de datos en las inspecciones manuales, el tabulador de datos Jerome se enchufa al 431-X. Utilizando el software de la Interfaz de Comunicaciones Jerome (JCS), el analizador y el tabulador de datos bajan los datos registrados a la computadora para su análisis, impresión y almacenamiento permanente.

Además, el software JCS puede programar el instrumento para un monitoreo independiente. Si el sensor se satura cuando el 431-X se adhiere al tabulador de datos o computadora, el analizador lo regenera automáticamente y luego continúa con el muestreo. Los dosímetros de bobina de oro de Jerome, utilizados junto a una bomba de flujo reducido y un 431-X configurado para comunicaciones, pueden proveer promedios de tiempo medido para la exposición personal al mercurio.

Con estos dosímetros reutilizables el análisis se lleva a cabo rápidamente en la compañía. Además, pueden utilizarse como dispositivos de recolección para aplicaciones como el análisis de flujo de gas. Un tablero interno opcional permite el auto ajuste a cero, la operación con corriente directa, la regeneración dentro de tiempos predeterminados, y el muestreo durante períodos largos sin operador.

Este tablero permite también la entrada de aire desde el exterior al soporte solenoide, y salida análoga de 4 a 20 mA o de 0 a 2 V. Se presenta en un estuche moldeado, o flexible que le agregará versatilidad y espacio al instrumento, y a sus accesorios.



Arizona Instrument
602-470-1414
www.azic.com



Jerome® 431-X

Analizador de Gases de Mercurio



Características del 431-X:

- Resistente y de uso sencillo
- Preciso análisis de gases de mercurio en segundos
- Sensor de membrana de oro intrínsecamente estable
- Su amplio rango de detección permite múltiples usos
- Paquete de batería interna recargable de fácil transporte
- Operación de apagado, o encendido con membrana sensible a presión
- Luz de refuerzo automática para LCD en bajas condiciones de luz externa
- Microprocesador que asegura una respuesta directa a lo largo de la amplitud del sensor
- Modalidad de Inspección para detección rápida de la fuente de concentraciones de gases de mercurio

431-X Especificaciones:

Resolución	0.001 mg/m ³
Margen de detección	0.003 - 0.999 mg/m ³
Precisión	Desviación estándar relativa 5% a 0.100 mg/m ³
Exactitud	± 5% at 0.100 mg/m ³
Tiempo de indicación	13 seg. en el modo de muestreo; 4 seg. en el modo de inspección
Tasa de flujo	750 cc/min
Paquete de baterías interno	Recargables de níquel-cadmio
Requisitos de corriente eléctrica	100-120 V-, 50/60 Hz, 1 A o 220-240 V-, 50/60 Hz, 1 A
Margen ambiental	0 - 40°C, sin condensación, inexplorable
Interfaces	PC RS-232 utilizando software JCS
Medidas	6" de Ancho x 13" de Largo x 4" de Altura - 153 mm de Ancho x 330 mm de Largo x 102 mm de Altura
Peso	3.18 kg / 7 lb
Garantía	Un año para las piezas de fábrica y por mano de obra
Certificaciones	Comunidades Europeas (CE) sólo para el modelo de 220-240 V



Accesorios Opcionales:

- Equipo de mantenimiento y limpieza de rutina
- Tabulador de datos para llevar registros de información de monitoreo del campo
- Equipo de pruebas funcional para la verificación de la calibración del sensor en el campo
- Estuche moldeado, o flexible que le agregará versatilidad, y espacio de almacenaje adicional
- Equipo de Software de JCS para descargar información desde el tabulador de datos a la PC, o a algún punto fijo de muestreo, sin operador
- Los dosímetros proveen promedios de tiempo medido para la exposición personal al mercurio o el análisis de flujo de gas, y son reutilizables
- Tablero opcional para la entrada de aire desde el exterior al soporte solenoide, auto ajuste a cero, operación con corriente directa, regeneración dentro de tiempos predeterminados, salida análoga de 4 a 20 mA o de 0 a 2 V, y muestreo temporizado

Aplicaciones:

- | | |
|----------------------------------|---|
| Respuesta a derrames | Garantiza la seguridad de los trabajadores |
| Áreas con residuos peligrosos | Inspecciones de mercurio e investigación de suelos |
| Análisis de conductos de escape | Monitoreo del tratamiento y reciclaje de lámparas fluorescentes |
| Pruebas de exclusión de mercurio | Proyectos de investigación para pilas, conductos y gas natural |

Arizona Instrument • 1912 W 4th Street • Tempe AZ 85281 • (800) 528-7411 • (602) 470-1414 • Fax (480) 804-0656 • www.azic.com

A.2 Certificado de calibración del equipo Analizador de Vapor de Mercurio JEROME 431-X, utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en aire.



Certificate of Instrument Calibration

1912 W. 4th Street • Tempe, AZ 85281 • (602) 470-1414 • (800) 520-7411 • Fax (480) 804-0656 • www.azic.com

Arizona Instrument Manufacturers of Computrac® Moisture Analyzers and Jerome® Toxic Gas Analyzers

Company Minera Yanacocha
Address Av. Camino Real #348 Torre El
Pilar Pisco 10
Lima 27 Peru Peru

This is to certify that the JEROME X431-0105 Gold Film Mercury Analyzer, 220 VAC Serial Number 3347 with Sensor Number 04-9-11-V4C, was calibrated with standard units traceable to NIST

Calibration Status as Received: Functionally Unable to Check Calibration

Incoming:	Actual	Calibration Gas	Allowable Range
Level 1		mg/m ³ Hg	- mg/m ³ Hg
RSD			<3%
Outgoing:	Actual	Calibration Gas	Allowable Range
Level 1	.1062	0.106 mg/m ³ Hg	.1007 - 11.13 (+/-5%)
RSD	1.39		<3%
Level 2	N/A	0.025 mg/m ³ Hg	0.020 - 0.030 mg/m ³
SD	N/A		<0.005 mg/m ³
Level 3	N/A	0.010 mg/m ³ Hg	0.005 - 0.015 mg/m ³
SD	N/A		<0.005 mg/m ³

Calibration Status as Left: In Calibration

Estimated Uncertainty of Calibration System: 3.5%

Ambient conditions during calibration:

Temperature degrees F: 71.0 % Relative Humidity: 32.5

Calibration Date 2/23/2005

Re-Calibration Date 2/22/2006

Approved By: *V. Dorr*

Date: 2/23/2005

Title: Vince Dorr - Tech Support/Quality Control

Equipment Used

Permeation Tube	S/N: 498-3664	NIST: D3609-96
Calibration Date: 7/20/2004	Calibration Date Due: 7/20/2005	
DynaCalibrator	S/N: M978	NIST: 255085.95; NBS Buret #81 and #K10
Calibration Date: 7/21/2004	Calibration Date Due: 7/22/2005	
Flowmeter	S/N: 1231	NIST: 821/266717-02, 821/267337-02,
Calibration Date: 6/3/2004	Calibration Date Due: 6/3/2005	
Digital Multimeter	S/N: 515558	NIST: 1323-8001013
Calibration Date: 4/21/2004	Calibration Date Due: 4/21/2005	
Calibration Procedure Used	J109-0005	

Arizona Instrument certifies that the above instrument meets or exceeds all published specifications and that the calibration was performed using standard units traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) within the tolerance of the instrument calibration certificate as reported. All certificates are subject to the terms and conditions of the certificate. Accuracy of the instrument is based on the calibration and readings of the instrument. The instrument is not to be used for any other purpose. Arizona Instrument Corporation WILL NOT be responsible for any laboratory errors or for the calibration of the instrument after such instruments are returned to the laboratory. Specific instructions detailed in the User's Manual must be performed according to the directions and with the instrument as shown in the manual. As long as a customer has a copy, according to the instructions contained in the Operator's Manual, the instrument is performing correctly. Factors affecting the instrument's performance are listed in the manual. This document shall not be reproduced.

A.3 Informe de Análisis Granulométrico del suelo utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S05 - 441

SOLICITADO MARIA LUISA ZAPATA TORRES
PROYECTO TESIS
UBICACIÓN SAN JUAN DE MIRAFLORES
FECHA : 14, Julio del 2005

ENSAYOS ESTÁNDAR

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Calicata	Unica
Muestra	***
Prof. (m)	
Malla	(%) Acumulado que pasa
3"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	100.0
3/8"	97.7
1/4"	97.0
N°4	96.3
N°10	94.1
N°20	90.8
N°30	89.0
N°40	86.5
N°60	77.4
N°100	67.7
N°200	56.1
% de Grava	3.7
% de Arena	40.2
% de Fines	58.1

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Julio Chávez U.

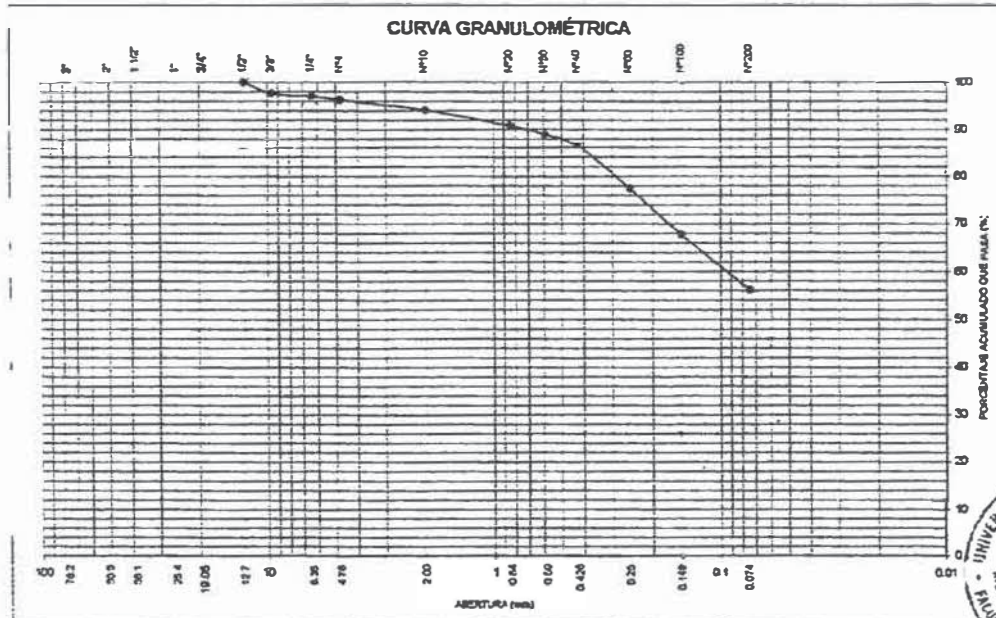
Revisado por: Ing. A. Quiñones V.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos
 Lima 100 - Perú Teléfono: 51-14)811070 Anexo 308 - Telefax: 3513842

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422		INFORME N° S05 - 441			
Calicata	::	***	Solicitado	::	MARIA LUISA ZAPATA TORRES
Muestra	::	Unica	Proyecto	::	TESIS
Prof. (m)	::	***	Ubicación	::	SAN JUAN DE MIRAFLORES
			Fecha	::	14, Julio del 2005

Tamiz	Abertura (mm)	(%) acumulado que pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.700	100.0
3/8"	9.525	97.7
1/4"	6.350	97.0
N°4	4.750	96.3
N°10	2.000	94.1
N°20	0.840	90.8
N°30	0.590	89.0
N°40	0.425	86.5
N°60	0.250	77.4
N°100	0.149	67.7
N°200	0.074	56.1



V.B.
ANTIOCO T. CUNIBIDE WILLANUEVA
 ING. RESPONSABLE DE AREA
 14 de Julio del 2005





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 8,11070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° SO5-563

SOLICITADO : BACH. MARIA LUISA ZAPATA TORRES
 BACH. LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
PROYECTO : TESIS "CONTAMINACION AMBIENTAL DEBIDO A LAMPARAS FLORESCENTES
 EN DESUSO Y METODOS DE DISPOSICION FINAL"
UBICACIÓN : ***
FECHA : 25, Octubre del 2005

ENSAYOS ESTÁNDAR

I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Calicata	***
Muestra	***
Prof. (m)	***
Malla	(%) Acumulado que pasa
3"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	100.0
1/2"	99.0
3/8"	98.1
1/4"	97.1
N°4	96.6
N°10	94.3
N°20	92.0
N°30	89.5
N°40	86.6
N°60	75.4
N°100	66.6
N°200	57.3
% de Grava	3.4
% de Arena	39.2
% de Finos	57.3

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.0
ASTM D2216	
LIMITE LIQUIDO (%)	26.2
ASTM D4318	
LIMITE PLASTICO (%)	18.9
ASTM D4318	
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	7.30

CL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

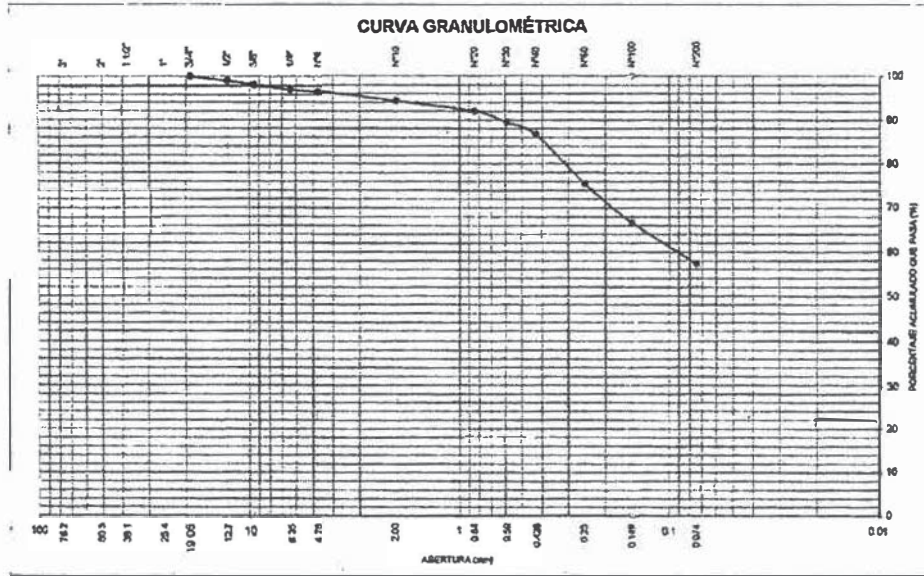
Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax 3813842

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 **INFORME N° SO5-863**

Calicata : ***
 Muestra : ***
 Prof. (m) : ***

Solicitado : BACH. MARIA LUISA ZAPATA TORRES
 BACH. LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
 Proyecto : TESIS "CONTAMINACION AMBIENTAL DEBIDO A LAMPARAS FLORESCENTES EN DESUSO Y METODOS DE DISPOSICION FINAL"
 Ubicación : ***
 Fecha : 25, Octubre del 2005

Tamiz	Abertura (mm)	(%) acumulado que pasa
3"	76.200	
2"	50.800	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	100.0
1/2"	12.700	99.0
3/8"	9.525	98.1
1/4"	6.350	97.1
N°4	4.750	96.8
N°10	2.000	94.3
N°20	0.840	92.0
N°30	0.600	89.5
N°40	0.425	86.6
N°60	0.250	75.4
N°100	0.149	66.6
N°200	0.074	57.3



A.4 Informe de Ensayo de Conductividad Hidráulica del suelo utilizado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 8,11070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

II. ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA ASTM D 5084-90 Tipo de Ensayo: En Pared Flexible

Calicata : ***
Muestra : ***
Prof. (m) : ***
CONDICION : Compactado al 95% de su MDS y su OCH

	ESPECIMEN	
	INICIAL	FINAL
L (cm)	14.23	14.01
D (cm)	7.17	7.09
Densidad Humeda (gr/cm ³)	1.98	2.15
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.75	1.82
w(%)	13.09	17.98

ESFUERZOS EN LA MUESTRA

Esfuerzo Confinante 462 kpa
Contrapresión 362 kpa
Esfuerzo Efectivo 100 kpa
PB 8 kpa (81.55 cm-H₂O)
Parámetro B 95.0%

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Gradiente Hidráulico : 5.82
K (cm/s) : 1.220E-05
K 20°C (cm/s) : 1.286E-05

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Ejecutado por: Tec. Julio Chávez U.

Revisado por: Ing. A. Quiñones V.

A.5 Resultados del Análisis químico del suelo contaminado usado en el desarrollo de la metodología para estimar el grado de contaminación en suelo.



ALS Chemex

EXCELLENCE IN ANALYTICAL CHEMISTRY

ALS Peru S.A

Calle 1 LT-1A Mz-D, esq. Calle A
Urb. Industrial Bocanegra Callao 01
Lima

Phone +51 (1) 574 5700 Fax +51 (1) 574 0721 www.alschemex.com

To: LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
AV. PACASMAYO 453 DPTO. 201 CIUDAD
SATELITE
SANTA ROSA - CALLAO 01

Page: 1
Finalized Date: 5-AUG-2005
Account: LPDSC

CERTIFICATE LI05059816

Project:
P.O. No.:
This report is for 6 RC Drill Chip samples submitted to our lab in Lima, Peru on
26-JUL-2005.

The following have access to data associated with this certificate:

LEOPOLDO ESCALANTE	LEOPOLDO ESCALANTE (2)
--------------------	------------------------

SAMPLE PREPARATION

ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
PUL-31	Pulverize split to 85% <75 um
SPL-21	Split sample - riffle splitter
CRU-31	Fine crushing - 70% <2mm
LOG-22	Sample login - Rcd w/o BarCode

ANALYTICAL PROCEDURES

ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
Hg-CV41	Trace Hg - cold vapor/AAS	FIMS
ME-ICP41	34 Element Aqua Regia ICP-AES	ICP-AES

To: LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
ATTN: LEOPOLDO ESCALANTE
AV. PACASMAYO 453 DPTO. 201 CIUDAD SATELITE
SANTA ROSA - CALLAO 01

This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release

Signature



ALS Chemex

EXCELLENCE IN ANALYTICAL CHEMISTRY

ALS Peru S.A

Calle 1 LT-1A Mz-D, esq. Calle A
Urb. Industrial Bocanegra Callao 01
Lima

Phone +51 (1) 574 5700 Fax +51 (1) 574 0721 www.alschemex.com

To: LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
AV. PACASMAYO 453 DPTO. 201 CIUDAD
SATELITE
SANTA ROSA - CALLAO 01

Page: 2 - A
Total # Pages: 2 (A - C)
Finalized Date: 5-AUG-2006
Account: LPDSC

CERTIFICATE OF ANALYSIS LI05059816

Sample Description	Method Analyte Units LOR	WEI-Z1	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	
		Recd Wt kg	Ag ppm	Al %	As ppm	B ppm	Ba ppm	Be ppm	B ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fa %	Ga ppm	
MS-00		0.02	0.97	1.7	1.88	43	20	140	0.6	<2	1.21	0.9	12	20	64	3.49	10
MS-12-01		0.84	0.84	1.4	2.01	43	10	140	0.6	<2	1.28	0.8	12	17	60	3.57	10
MS-Z3-02		0.74	0.74	1.2	2.07	45	10	150	0.6	<2	1.28	0.8	12	19	64	3.80	10
MS-3-03		0.81	0.81	1.4	2.01	43	10	140	0.6	<2	1.21	0.9	12	16	75	3.98	10
MS-68-04		0.83	0.83	1.6	2.15	44	10	150	0.6	<2	1.27	0.8	12	18	64	3.69	10
MS-80-05		0.90	0.90	1.2	1.99	45	10	140	0.6	<2	1.16	0.8	12	18	63	3.52	10



ALS Chemex

EXCELLENCE IN ANALYTICAL CHEMISTRY
ALS Peru S.A

Calle 1 LT-1A Mz-D, esq. Calle A
Urb. Industrial Bazaranga Callao 01
Lima

Phone: +51 (1) 574 5700 Fax: +51 (1) 574 0721 www.alschemex.com

To: LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
AV. PACASMAYO 453 DPTO. 201 CIUDAD
SATELITE
SANTA ROSA - CALLAO 01

Page: 2 - B
Total # Pages: 2 (A - C)
Finalized Date: 6-AUG-2006
Account: LPDSC

CERTIFICATE OF ANALYSIS LI05059816

Sample Description	Method Analyte Units LOR	Hg-CV41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
		Hg ppm 0.01	K % 0.01	La ppm 10	Mg % 0.01	Li ppm 5	Mo ppm	Na % 0.01	N ppm 1	Pb ppm 10	Po ppm 2	S % 0.01	Sb ppm 2	Sc ppm 1	Sr ppm 1	Ti % 0.01
MS-00		0.61	0.29	10	0.80	684	2	0.10	8	1530	84	0.08	5	5	95	0.13
MS-12-01		0.97	0.28	10	0.80	673	2	0.14	8	1730	60	0.08	10	5	96	0.13
MS-23-02		0.89	0.28	10	0.83	727	1	0.12	9	1650	78	0.08	8	5	97	0.13
MS-34-03		0.82	0.27	10	0.83	670	1	0.10	7	1570	89	0.08	4	5	94	0.13
MS-68-04		0.62	0.30	10	0.85	721	2	0.11	6	1000	80	0.09	5	6	99	0.14
MS-80-05		0.60	0.27	10	0.82	668	2	0.10	9	1530	86	0.07	4	5	92	0.13



ALS Chemex
EXCELLENCE IN ANALYTICAL CHEMISTRY

ALS Peru S.A.
Calle 1 LT-1A Mz-D, esq. Calle A
Urb. Industrial Bocanegra Callao 01
Lima
Phone: +51 (1) 574 5700 Fax: +51 (1) 574 0721 www.alschemex.com

To: LEOPOLDO ESCALANTE MANRIQUE
AV. PACASMAYO 453 DPTO. 201 CIUDAD
SATELITE
SANTA ROSA - CALLAO 01

Page: 2 - C
Total # Pages: 2 (A - C)
Finalized Date: 5-AUG-2005
Account: LPDSC

CERTIFICATE OF ANALYSIS LI05059816

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
		Ti ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zn ppm
		10	10	1	10	2
MS-00		<10	<10	84	<10	223
MS-12-01		<10	<10	82	<10	203
MS-23-02		<10	<10	83	<10	201
MS-34-03		<10	<10	84	<10	206
MS-68-04		<10	<10	85	<10	206
MS-80-05		<10	<10	83	<10	192

A.6

A.6 Informe técnico del análisis toxicológico realizado con animales en laboratorio.

**UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA****SERVICIO DE CONTROL DE CALIDAD**

CAR-P-SCC-UPCH 0495/05

Lima, 14 de octubre de 2005

Sr: Leopoldo Escalante
Presente-

Estimados señor:

Es grato dirigirme a ustedes para remitirles el(los) siguiente(s) Informe(s) Técnico(s):

INF. TECNICO	CÓDIGO SCC-UPCH	PRODUCTO	LÓTE
IT 083/05	EP972-O125/05	RECUBRIMIENTO FOSFORICO DE LAMPARAS FLUORECENTES	--

Atentamente,



SERVICIO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME TECNICO N° IT083/05

NOMBRE COMERCIAL : RECUBRIMIENTO FOSFORICO DE
LAMPARAS FLUORECENTES
NOMBRE GENERICO : ----
DOCUMENTO DE REFERENCIA : ----
ACTA DE MUESTREO : ----
LUGAR DE MUESTREO O PESQUISA: ----
MUESTREADO O PESQUISADO POR : ----
CODIGO DEL SCC : EP972-0125/05
LABORATORIO FABRICANTE : ----
IMPORTADOR : ----
DISTRIBUIDOR : ----
FORMA DE PRESENTACION : ----
FORMA FARMACEUTICA : ----
NUMERO DE LOTE : ----
FECHA DE VENCIMIENTO : ----
CANTIDAD RECIBIDA : ----
ANALISIS SOLICITADO POR : ----
ANALISIS SOLICITADO : Irritación Aguda Dérmica en
conejos
DIRECCION DEL SOLICITANTE : ----
FECHA DE RECEPCION POR EL SCC : 12/10/05

TECNICA: OECD GUIDELINE FOR TESTING OF CHEMICALS

TEST N° 404: ACUTE DERMAL IRRITATION/CORROSION

PRUEBAS EFECTUADAS

RESULTADOS

Av. Honorio Delgado 430. Urb. Ingeniería, San Martín de Porres
Telef.: 319-0000 / 482-0252 / 482-1130
<http://www.unch.edu.pe>



UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

INFORME TECNICO N° IT083/05 - Pág. 2 de 3

PRUEBA BIOLÓGICA: IRRITACION AGUDA DERMICA EN PIEL DE CONEJOS

Procedimiento: A dos conejos albinos, cepa Nueva Zelanda, machos de 2 a 2,5 Kg de peso, se les rasuró el dorso 24 horas antes de iniciada la prueba y se aplicó 0,5 g del producto en un parche el cual se colocó directamente sobre la piel en un área de 6 cm², siendo luego cubierta con una cinta semi-oclusiva. La forma de aplicación fué secuencial, los parches fueron retirados a los 3 minutos, 1 hora y 4 horas procediéndose a evaluar los efectos producidos. (Ver cuadro N° 1).

Cuadro N° 1

Grados de Reacción en la piel:

ERITEMA Y FORMACION DE ESCARAS:

No Eritema.....	0
Eritema Leve.....	1
Eritema bien definido.....	2
Eritema severo o moderado.....	3
Eritema severo, formación de escaras.....	4
Máximo posible: 4	

FORMACION DE EDEMA:

No Edema.....	0
Edema muy leve.....	1
Edema leve.....	2
Edema moderado.....	3
Edema severo.....	4
Máximo posible: 4	

Resultado: La muestra del producto produjo eritema leve, en la piel de los dos conejos evaluados a los 3 minutos, 1 hora y 4 horas. No se observó formación de escaras, ni edema. A los 14 días no se observó ningún efecto en la piel de los conejos tratados.

Av. Honorio Delgado 430, Urb. Ingeniería, San Martín de Porres
Telef.: 319-0000 / 482-0252 / 482-1130



UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

INFORME TECNIO N° IT083/05 - Pág. 3 de 3

Cuadro N° 2

Grado de Irritación Aguda Dérmica

		Conejo 1	Conejo 2
		Muestra	Muestra
Eritema	3 minutos	1	1
	1 hora	1	1
	4 horas	1	1
Edema	3 minutos	0	0
	1 hora	0	0
	4 horas	0	0

CONCLUSION: La muestra del producto recibido y analizado **RECUBRIMIENTO FOSFORICO DE LAMPARAS FLUORECENTES** sin numero de lote, presenta los resultados arriba indicados.

Lima 14 de octubre de 2005

NOTA - Este Informe Técnico solo podrá reproducirse con autorización escrita del Servicio de Control de Calidad de la Universidad Peruana Cayetano Heredia a condición de que se haga en su totalidad y no en forma parcial o fragmentaria.

Av. Honorio Delgado 430, Urb. Ingeniería, San Martín de Porres
Teléfono: 210 0000 / 497 0262 / 497 1120

A.7

A.7 Test N° 404: Acute dermal irritation/corrosion of OECD Guideline for testing of chemicals.

OECD GUIDELINE FOR THE TESTING OF CHEMICALS

Acute Dermal Irritation/Corrosion

INTRODUCTION

1. OECD Guideline for Testing of Chemicals are periodically reviewed to ensure that they reflect the best available science. In the review of this guideline, special attention was given to possible improvements in relation to animals welfare concerns and to the evaluation of all existing information on the test substance in order to avoid unnecessary testing in laboratory animals. This updated version of Guideline 404 (adopted in 1981 and first revised in 1992) includes the recommendations that prior to undertaking the described *in vivo* test for corrosion/irritation of the substances, a weight-of-the-evidence analysis be performed on the existing relevant data. Where insufficient data are available, they can be development through application of sequential testing (1). The testing strategy includes the performance of validated and accepted *in vitro* test and is provided as a Supplement of this Guideline. In addition, where appropriate, the successive, instead of simultaneous, applications of the three test patches to the animal in the initial *in vivo* test is recommended in this Guideline.
2. Definitions of dermal irritation and corrosion are set out in the Annex to the Guideline.

INITIAL CONSIDERATION

3. In the interest of both sound science and animal welfare, *in vivo* testing should not be undertaken until all available data relevant to the potential dermal corrosivity/irritation of the substance have been evaluated in a weight-of-the-evidence analysis. Such data will include evidence from existing studies in humans and/or laboratory animals, evidence of corrosivity/irritation of one or more structurally related substances or mixtures or such substances, that data demonstrating strong acidity or alkalinity of the substance (2)(3), and results from validated and accepted *in vitro* or *ex vivo* tests (4)(5)(6). This analysis should decrease the need for *in vivo* testing for dermal corrosivity/irritation of substances for which sufficient evidence already existed from other studies as to those two endpoints.
4. A preferred sequential testing strategy, which includes the performance of validated and accepted *in vivo* or *ex vivo* tests for corrosion/irritation, is included as a Supplement of this Guideline. The strategy was developed at, and unanimously recommended by the participants of, an OECD workshop (7), and has been adopted as a recommended testing strategy in the Globally Harmonized System for the Classification of Chemical Substances (GHS) (8). It is recommended that this testing strategy be followed prior to undertaking *in vivo* testing. For new substance it is recommended stepwise testing approach for development scientifically sound data on the corrosivity/irritation, the strategy should be used to fill missing data gaps. Major deviation from the testing strategy or procedure, or a decision not to use a stepwise testing approach, should be justified.
5. If a determination of corrosivity or irritation cannot be made using a weight-of-the-evidence analysis, consistent with the sequential testing strategy, an *in vivo* test should be considered (see Supplement).

PRINCIPLE OF THE *IN VIVO* TEST

6. The substance to be tested is applied in a single dose to the skin of an experimental animal; untreated skin areas of the test animal serve as the control. The degree of irritation/corrosion is read and scored at specified intervals and is further described in order to provide a complete evaluation of the effects. The direction of the study should be sufficient to evaluate the reversibility or irreversibility of the effects observed.

7. Animals showing continuing signs of severe distress and/or pain at any stage of the test should be humanely killed, and the substance assessed accordingly. Criteria for making the decision to humanely kill moribund and severely suffering animals are the subject of a separate Guidance Document (9).

PREPARATION FOR THE *IN VIVO* TEST

Selection of animals species

8. The albino rabbit is the preferable laboratory animal, and healthy young adult rabbits are used. A rationale for using other species should be provided.

Preparation for the animals

9. Approximately 24 hours before the test fur should be removed by closely clipping the dorsal area of the trunk of the animals. Care should be taken to avoid abrading the skin, and only animal with healthy, intact skin should be used.

10. Some strains of rabbit have dense patches of hair that are more prominent at certain times of the year. Such areas of dense hair growth should not be used as test sites.

Housing and feeding conditions

11. Animals should be individually housed. The temperature of the experimental animal room should be 20°C ($\pm 3^\circ\text{C}$) for rabbits. Although the relative humidity should be at least 30% and preferably not exceed 70%, other than during room cleaning, the aim should be 50-60%. Lighting should be artificial, the sequence being 12 hours lights, 12 hours dark. For feeding, conventional laboratory diets may be used with an unrestricted supply of drinking water.

TEST PROCEDURE

Application of the test substance

12. The test substance should be applied to small areas (approximately 6 cm²) of skin and covered with a gauze patch, which is held in place with non-irritating tape. In cases in which direct application is not possible (e.g., liquids or some pastes), the test substance should first be applied to the gauze patch, which is then applied to the skin. The patch should be loosely held in contact with the skin by means of a suitable semi-occlusive dressing for the duration of the exposure period. If the test substance is applied to the patch, it should be attached to the skin in such a manner that there is good contact and uniform distribution of the substance on the skin. Access by the animal to the patch and ingestion or inhalation of the test substance should be prevented.

13. Liquid test substances are generally used undiluted. When testing solids (which may be pulverized, if considered necessary), the test substance should be moistened with the smallest amount of water (or, where necessary, of another suitable vehicle) sufficient to ensure good skin contact. When vehicles other than water are used, the potential influences of the vehicle on irritation of the skin by the test substance should be minimal, if any.

14. At the end of the exposure period, which is normally 4 hours, residual test substances should be removed, where practicable, using water or an appropriate solvent without altering the existing response or the integrity of the epidermis.

Dose level

15. A dose of 0.5 mL of liquid or 0.5 g of solid or paste is applied to the test site.

Initial test (*in vivo* dermal irritation/corrosion test using one animal)

16. It is strongly recommended that the *in vivo* test be performed initially using one animal, especially when the substance is suspected to have corrosion potential. This is in accordance with the sequential test strategy (Supplement).

17. When a substance has been judged to be corrosive on the basis of a weight-of-the-evidence analysis, no further animal testing is needed. For most substance suspected of being corrosive, further *in vivo* testing is normally not necessary. However, in those cases where additional data are felt warranted because of insufficient evidence, limited animal testing may be carried out using the following approach: Up to three test patches are applied sequentially to the animal. The first patch is removed after three minutes. If no serious skin reaction is observed, a second patch is applied at a different site and removed after one hour. If the observations at this stage indicate that the exposure can humanly be allowed to extend to four hours, a third patch is applied and removed after four hours, and the response is graded.

18. If a corrosive effect is observed after any of the three sequential exposure, the test is immediately terminated. If a corrosive effect is not observed after the last patch is removed, the animal is observed for 14 days, unless corrosion develops at an earlier time point.

19. In those cases in which the test substance is not expected to produce corrosion but may be irritating, a single patch should be applied to one animal for four hours.

Confirmatory test (*in vivo* dermal irritation test with additional animals)

20. If a corrosive effect is not observed in the initial test, the irritant or negative response should be confirmed using up to two additional animals, each with one patch, for an exposure period of four hours. If an irritant effect is observed in the initial test, the confirmatory test may be conducted in a sequential manner, or by exposing two additional animals simultaneously. In the exceptional case, in which the initial test is not conducted, two or three animals may be treated with a single patch, which is removed after four hours. When two animals are used, if both exhibit the same response, no further testing is needed. Otherwise, the third animal is also tested. Equivocal responses may need to be evaluated using additional animals.

Observation period

21. The duration of the observation period should be sufficient to evaluate fully the reversibility of the effects observed. However, the experiment should be terminated at any time

that the animal shows continuing signs of severe pain or distress. To determine the reversibility of effects, the animal should be observed up to 14 days after removal of the patches. If reversibility is seen before 14 days, the experiment should be terminated at that time.

Clinical observations and grading of skin reactions

22. All animals should be examined for signs of erythema and oedema, and the responses scored at 60 minutes, and then at 24, 48 and 72 hours after patch removal. For the initial test in one animal, the test site is also examined immediately after the patch has been removed. Dermal reactions are graded and recorded according to the grades in the Table below. If there is damage to skin which cannot be identified as irritation or corrosion at 72 hours, observations may be needed until day 14 to determine the reversibility of the effects. In addition to the observation of irritation, all local toxic effects, such as defatting of the skin, and any systemic adverse effects (e.g., effects on clinical signs of toxicity and body weight), should be fully described and recorded. Histopathological examination should be considered to clarify equivocal responses.

23. The grading of skin responses is necessarily subjective. To promote harmonization in grading of skin response and to assist testing laboratories and those involved in making and interpreting the observations, the personnel performing the observations need to be adequately trained in the scoring system used (see Table below). An illustrated guide for grading skin irritation and other lesions could be helpful (10).

DATE AND REPORTING

24. Study result should be summarized in tabular form in the final test report and should cover all items listed in paragraph 27.

Evaluations of results

25. The dermal irritation scores should be evaluated in conjunction with the nature and severity of lesions, and their reversibility or lack of reversibility. The individual scores do not represent an absolute standard for the irritant properties of a material, as other effects of the test material are also evaluated. Instead, individual scores should be viewed as reference values, which need to be evaluated in combination with all other observations from the study.

26. Reversibility of dermal lesions should be considered in evaluating irritant responses. When responses such as alopecia (limited area), hyperkeratosis, hyperplasia and scaling, persist to the end of the 14-day observation period, the test substances should be considered an irritant.

Test report

27. The test report must include the following information:

Rationale for *in vivo* testing: weight-of-evidence analysis of pre-existing test data, including result from sequential testing strategy:

- description of relevant data available from prior testing;
- data derived at each stage of testing strategy;
- description of *in vivo* tests performed, including details of procedures, results obtained with test/reference substances;
- weight-of-the-evidence analysis for performing *in vivo* study.

Test substance:

- identification data (e.g. CAS number, source, purity, known impurities, lot number);
- physical nature and physicochemical properties (e.g. pH, volatility, solubility, stability);
- if mixture, composition and percentages of components.

Vehicle:

- identification, concentration (where appropriate), volume used;
- justification of choice of vehicle.

Test animals:

- species/strain used, rationale for using animals other than albino rabbit;
- number of animals of each sex;
- individual animal weight at start and conclusion of test;
- age at start of study;
- source of animals, housing conditions, diet, etc.

Test conditions:

- technique of patch site preparation;
- details of patch materials used and patching technique;
- details of test substances preparations, applications and removal.

Results:

- tabulation of irritation/corrosion response score for each animal at all time points measured;
- description of all lesions observed;
- narrative description of nature and degree of irritation or corrosion observed, and any histopathological findings;
- descriptions of other adverse local (e.g. defatting of skin) and systemic effects in additions to dermal irritation or corrosion.

Discussion of results

LITERATURE

- (1) Barratt, M.D., Castell, J.V., Chamberland, M., Combes, R.D., Dearden, J.C., Fentem, J.H., Gerner, I., Giuliani, A., Gray, T.J.B., Livingston, D.J., Provan, W.M., Rutten, F.A.J.J.L., Verhaar, H.J.M., Zbinden, P (1995). The Integrated Use of Alternative Approaches for Predicting Toxic Hazard. ECVAM Workshop Report 8. ATLA 23, 410-429.
- (2) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth W.M.H. (1988). Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substance Without Testing on Animals. Toxicol. *In Vivo*, 2, 19-26.
- (3) Worth, A.P., Fentem, J.H., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdail, D.J., Liebsch, M. (1998). Evaluation of the proposed OECD Testing Strategy for skin corrosion, ATLA 26, 709-720.
- (4) ECETOC (1990). Monograph No. 15, "Skin Irritation", European Chemical Industry, Ecology and Toxicology Centre, Brussels.
- (5) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L. K., Esdail, D.J., Holzutter, H.G. and Liebsch, M. (1998). The ECVAM international validation study on in vitro test for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. Toxicology in Vitro 12, pp.483-524.
- (6) EU (2000). Official Journal of The European Communities L136/91 of 8 June 2000, Method B.40 Skin Corrosion.
- (7) OECD (1996). OECD Test Guidelines Program: Final Report of the OECD Workshop on Harmonization of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held in Solna, Sweden, 22-24 January 1996 (<http://www1.oecd.org/ehs/test/background.htm>).
- (8) OECD (1998). Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www1.oecde.org/ehs/Class/HCL6.htm>).
- (9) OECD (2000). Guidance Document on the Recognition, Assessment and Use of Clinical Signs as Humane Endpoints for Experimental Animals Used in Safety Evaluation. OECD Environmental Health and Safety Publications. Series on Testing and Assessment No. 19 (<http://www1.oecd.org/ehs/test/monos.htm>).
- (10) EPA (1990), Atlas of Dermal Lesions, (207-2004). United States Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, Washington, DC, August 1990, [Available from OECD Secretariat upon request].

TABLE: GRADING OF SKIN REACTIONS**Erythema and Eschar Formation**

No erythema	0
Very slight erythema (barely perceptible)	1
Well defined erythema	2
Moderated to severe erythema	3
Severe erythema (beaf redness) to eschar formation preventing grading of erythema	4

Maximum possible: 4

Oedema Formation

No oedema	0
Very slight oedema (barely perceptible)	1
Slight oedema (edges of area well defined by definite raising)	2
Moderate oedema (raised approximately 1 mm)	3
Severe oedema (raised more than 1 mm and extending beyond area of exposure)	4

Maximum possible: 4

Histopathological examination may be carried out to clarify equivocal responses.

ANNEX

DEFINITIONS

1. Dermal irritation is the production of reversible damage of the skin following the applications of a test substance for up to four hours.

2. Dermal corrosion is the production of reversible damage of the skin; namely, visible necrosis through the epidermis and into the dermis, following the applications of a test substance for up to four hours. Corrosive reactions are typified by ulcers, bleeding, bloody scabs and, by the end of observation at 14 days, by discolouration due to blanching of the skin, complete areas of alopecia, and scars. Histopathology should be considered to evaluate questionable lesions.

SUPPLEMENT TO TEST GUIDELINE 404**A Sequential Testing Strategy for Dermal Irritation and Corrosion****GENERAL CONSIDERATIONS**

1. In the interest of sound science and animal welfare, it is important to avoid the unnecessary use of animals and to minimise any testing that is likely to produce severe responses in animals. All information on a substance relevant to its potential skin corrosivity/irritancy should be evaluate prior to considering *in vivo* testing. Sufficient evidence may already exist to classified a test substance as to its dermal corrosion or irritation potential without the need to conduct testing in laboratory animals. Therefore, utilizing a weight-of-the-evidence analysis and a sequential testing strategy, will minimise the need for *in vivo* testing, especially if the substance is likely to produce severe reactions.

2. It is recommended that a weight-of-the-evidence analysis be used to evaluate existing information regarding the skin irritation and corrosion of substances to determine whether additional studies, other than *in vivo* dermal studies, should be performed to help characterize such potential. Where further studies are need, it is recommended that the sequential testing strategy be utilised to develop the relevant experimental data. For substances which have no testing history, the sequential testing strategy should be utilised to develop the data set needed to evaluate its dermal corrosion/irritation potential. The testing strategy describe in this Supplement was developed at an OECD Workshop (1) and was later affirmed and expanded in the Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, in November 1998 (2).

3. Although this sequential testing strategy is not an integral part of test Guideline 404, it expresses the recommended approach for the determination of the skin irritation/corrosion characteristics. This approach represents both best practice and an ethical benchmark for *in vivo* testing for skin irritation/corrosion. The Guideline provides guidance for the conduct of the *in vivo* test and summarises the factors that should be addressed before initiating such a test. The strategy provides an approach for the evaluation of existing data on the skin irritation/corrosion properties of test substances and a tiered approach for the generation of relevant that data on substances for which additional studies are needed, or for which no studies have been performed. It also recommends the performances of validated and accepted *in vivo* or *ex vivo* test for skin corrosion/irritation under specific circumstances.

DESCRIPTION OF THE EVALUATION AND TESTING STRATEGY

4. Prior to undertaking tests as part of the sequential testing strategy (Figure), all available information should be evaluated to determine the need for *in vivo* skin testing. Although significant information might be gained from the evaluation of single parameters (e.g. extreme pH), the totality of existing information should be considered. All relevant data on the effects of the substance in question, or its analogues, should be evaluated in making a weight-of-the-evidence decision, and a rationale for the decision should be presented. Primary emphasis should be placed upon existing human and animal data on the substance, followed by the outcome of *in vitro* or *ex vivo* testing. *In vivo* studies of corrosive substances should be avoided whenever possible. The factors considered in the testing strategy include:

5. Evaluation of existing human and animal data (Step 1). Existing human data, e.g. clinical or occupational studies and case reports, and/or animal test data, e.g. from single or repeated dermal exposure

toxicity studies, should be considered first, because they provide information directly related to effects on the skin. Substances with known irritancy or corrosivity, and those with clear evidence of non-corrosivity or non-irritancy, need not be tested in *in vivo* studies.

6. Analysis of structure activity relationships (SAR) (Step 2). The results of testing of structurally related substances should be considered, if available. When sufficient human and/or animal data are available on structurally related substances or mixtures of such substances to indicate their skin corrosion/irritancy potential, it can be presumed that the test substance being evaluated will produce the same responses. In those cases, the tests substance may not need to be tested. Negative data from studies of structurally related substances or mixtures of such substances do not constitute sufficient evidence of non-corrosivity/non-irritancy of a substance under the sequential testing strategy. Validated and accepted SAR approaches should be used to identify both dermal corrosion and irritation potential.

7. Physicochemical properties and chemical reactivity (Step3). Substances exhibiting pH extremes such as ≤ 2.0 and ≥ 11.5 may have strong local effects. If extreme pH is the basis for identifying a substance as corrosive to skin, then its acid/alkali reserve (or buffering capacity) may also be taken into consideration (3) (4). If the buffering capacity suggests that a substance may not be corrosive to the skin, then further testing should be undertaken to confirm this, preferable by the use of a validated and accepted *in vitro* or *ex vivo* test (see paragraph 9).

8. Dermal Toxicity (Step 4). If a chemical has proven to be highly toxic by the dermal route, an *in vivo* dermal irritation/corrosion study may not be practicable because the amount of test substance normally applied could exceed the highly toxic dose and, consequently result in the death or severe suffering of the animals. In addition, when dermal toxicity studies utilizing albino rabbits have already been performed up to the limit dose level of 2000 mg/Kg body weight or higher, and no dermal irritation or corrosion has been seen, additional testing for skin irritation/corrosion may not be needed. A number of considerations should be borne in mind when evaluating acute dermal toxicity in previously performed studies. For example, reported information on dermal lesions may be incomplete. Testing and observations may have been made on a species other than the rabbit, and species may differ widely in sensitivity of their responses. Also the form of test substance applied to animals may not have been suitable for assessment of skin irritation/corrosion (e.g., dilution of substances for testing dermal toxicity (5). However, in those cases in which well-designed and conducted dermal toxicity studies have been performed in rabbits, negative findings may be considered sufficient evidence that the substance is not corrosive or irritating.

9. Result from *in vitro* or *ex vivo* tests (Steps 5 and 6). Substances that have demonstrated corrosive or severe irritant properties in a validated and accepted *in vitro* or *ex vivo* test (6) (7) designed for the assessment of these specific effects, need not be tested in animals. It can be presumed that such substances will produce similar severe effects *in vivo*.

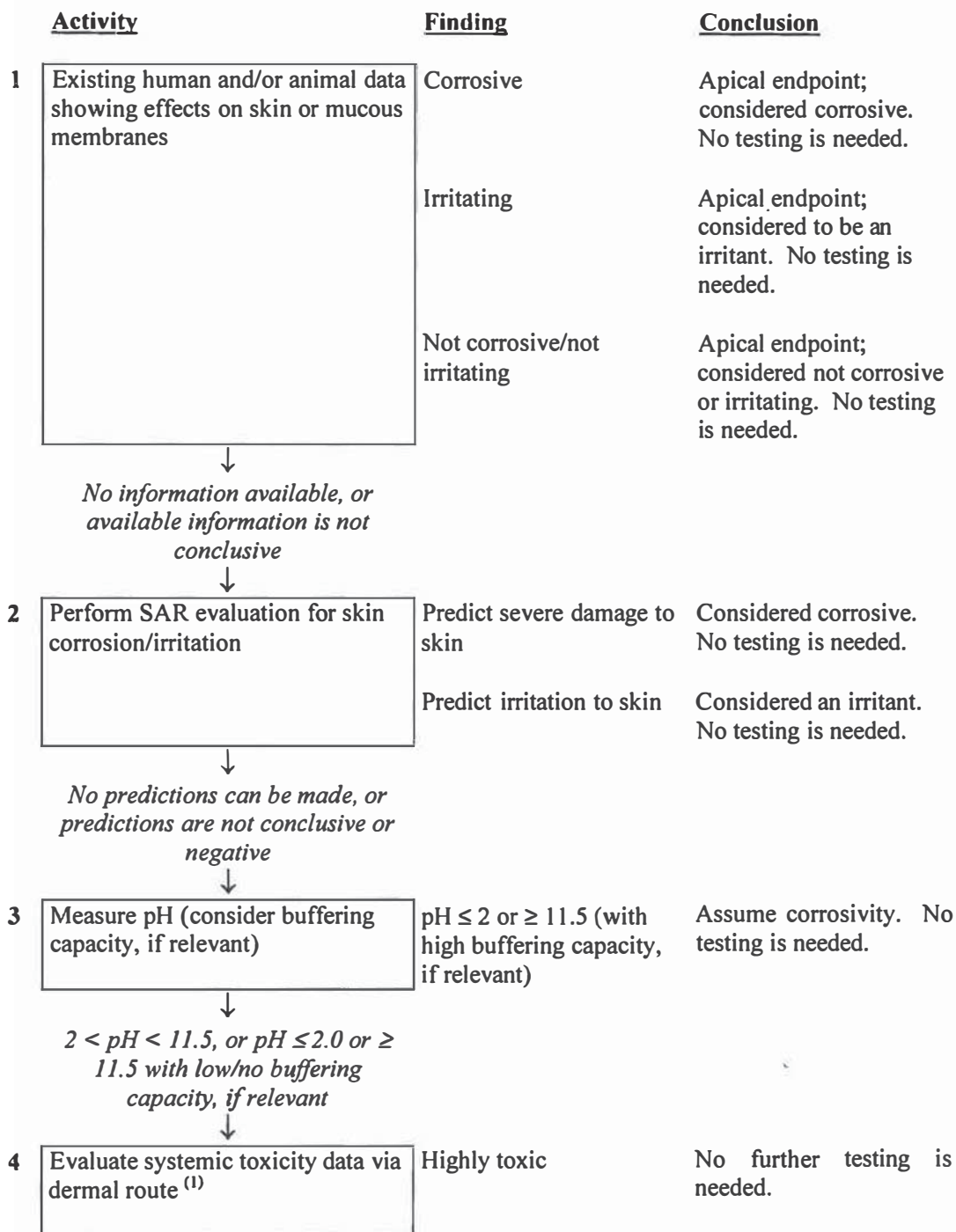
10. *In vivo* test in rabbits (Steps 7 and 8). Should a weight-of-the-evidence decision be made to conduct *in vivo* testing, it should begin with an initial test using one animal. If the results of this test indicate the substance to be corrosive to the skin, further testing should not be performed. If a corrosive effect is not observed in the initial test, the irritant or negative response should be confirmed using up to two additional animals for an exposure period of four

hours. If an irritant effect is observed in the initial test, the confirmatory test may be conducted in a sequential manner, or by exposing the two additional animals simultaneously.

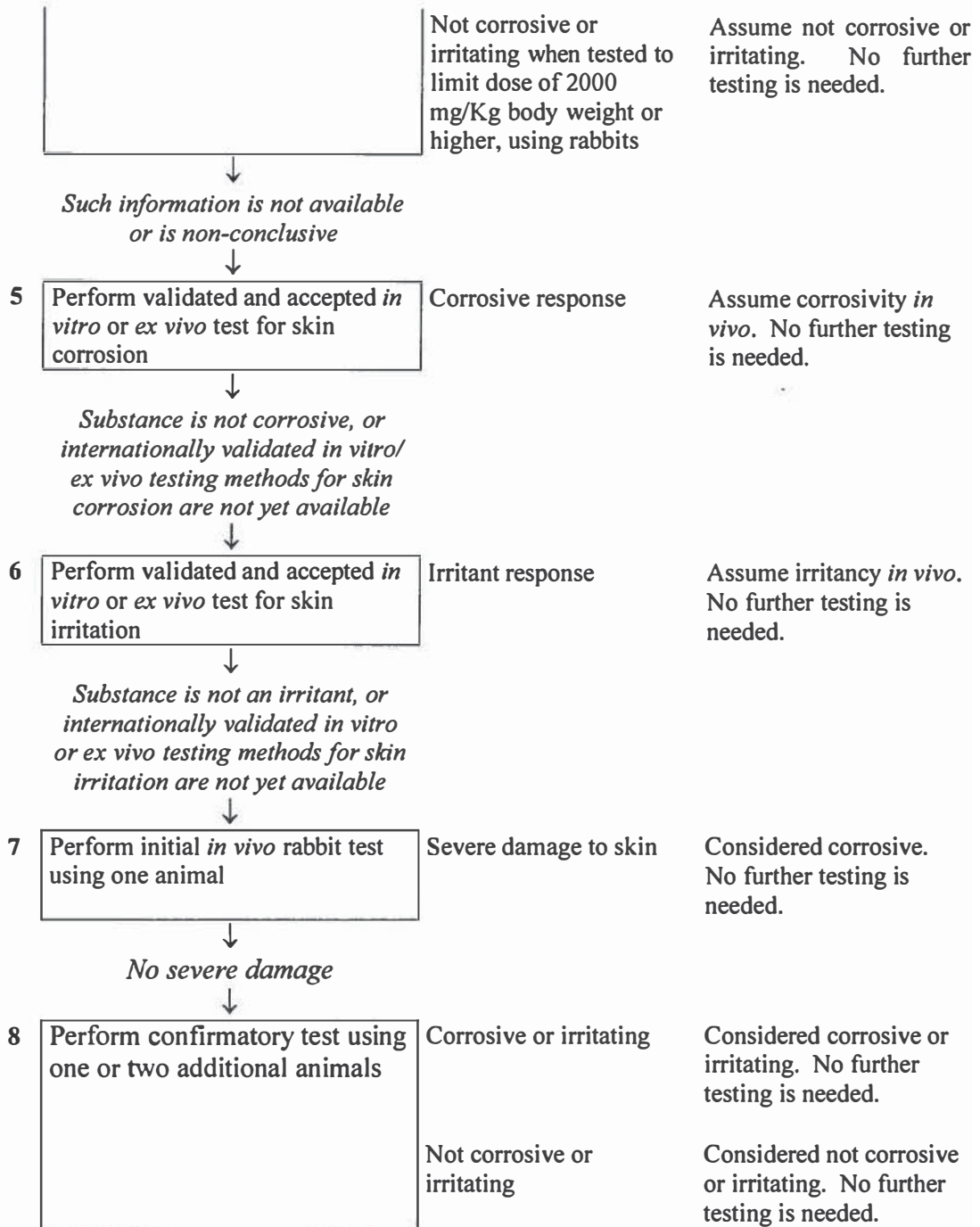
LITERATURE

- (1) OECD (1996). Test Guideline Programme. Final Report of the OECD Workshop on Harmonization of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held on Solna Sweden. 22-24 January 1996 (<http://www.1.oecd.org/ehs/test/background.htm>)
- (2) OECD (1998). Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www.1.oecd.org/ehs/Class/HCL6.htm>)
- (3) Worth, A.P., Fentem, J.H., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdail, D.J., Liebsch, M. (1998). An Evaluation of the proposed OECD Testing Strategy for skin corrosion, *ATLA* 26, 709-720.
- (4) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth W.M.H. (1988). Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substance, Without Testing on Animals. *Toxicology in Vitro*, 2 (1)pp 19-26.
- (5) Patil, S.M., Patrick, E., Maibach, H.I. (1996) Animal, Human, and In Vitro Test Methods for Predicting Skin Irritation, in: Francis N. Marzulli and Howard I. Maibach (editors): *Dermatotoxicology*. Fifth Edition ISBN 1-56032-356-6, Chapter 31, 411-436.
- (6) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L. K., Edsail, D.J., Holzhutter, H.G. and Liebsch, M. (1998). The ECVAM international validation study on in vitro test for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology in Vitro* 12, pp.483-524.
- (7) EU (2000). Official Journal of The European Communities L 136/91 of 8 June 2000, Method B.40 Skin Corrosion.

FIGURE
TESTING AND EVALUATION STRATEGY FOR DERMAL
IRRITATION/CORROSION



⁽¹⁾ Can be considered before Steps 2 and 3.



A.8 Propuesta Económica para el Servicio de Retiro y Disposición Final de Residuos Peligrosos del Almacén Recupero de Edelnor S.A.A.”

FORMULARIO DE PROPUESTA ECONOMICA

“Servicio de Retiro y Disposición Final de Residuos Peligrosos del Almacén Recupero de Edelnor S.A.A.”

DENOMINACION	PROMEDIO ESTIMADO / MES	UM	Precios por Kg. expresados en Nuevos Soles sin incluir IGV					Subtotal en Nuevos Soles sin incluir IGV				
			Ingemedios	Green Care	Ulloa	Hazco	Teconec	Ingemedios	Green Care	Ulloa	Hazco	Teconec
Lámparas fluorescentes a vapor de mercurio, a vapor de sodio	500	Kg	7.95	3.85	4.92	17.05	0.68	3.975 00	1.925 00	2.460 00	8.525 00	34000

A.9 Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Libro IV, Anexo II, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria. Republica del Ecuador - 2003. (Tabla 2 Criterios de Calidad de Suelo)

Tabla 2
Crterios de Calidad de Suelo

Sustancia	Unidades (Concentración Peso Seco)	en	Suelo
Parámetros Generales			
Conductividad	mmhos/cm	2	
PH		6 a 8	
Relación de Adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*	
Parámetros Inorgánicos			
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	5	
Azufre (elemental)	mg/kg		250
Baro	mg/kg		200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg		1
Cadmio	mg/kg		0.5
Cobalto	mg/kg		10
Cobre	mg/kg		30
Cromo Total	mg/kg		20
Cromo VI	mg/kg		2.5
Cianuro (libre)	mg/kg		0.25
Estaño	mg/kg		5
Flúor (total)	mg/kg		200
Mercurio	mg/kg		0.1
Molibdeno	mg/kg		2
Níquel	mg/kg		20
Plomo	mg/kg		25
Selenio	mg/kg		1
Vanadio	mg/kg		25
Zinc	mg/kg		60
Parámetros Orgánicos			
Benceno	mg/kg		0.05
Clorobenceno	mg/kg		0.1
Etilbenceno	mg/kg		0.1
Estireno	mg/kg		0.1
Tolueno	mg/kg		0.1
Xileno	mg/kg		0.1
PCBs	mg/kg		0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg		0.1
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg		0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg		0.1
Hexaclorociclohexano	mg/kg		0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg		0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg		0.05
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg		0.1

*: El valor numérico del Índice de Adsorción de Sodio (SAR) es la concentración requerida para que un suelo produzca todo tipo de cultivos.